



Titulació:

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Alumne:

Alba Guarinos Gran

Títol TFG:

**Estudi d'optimització lumínica a l'escola Europa International
School de Sant Cugat.**

Director del TFG:

Joan Carles Fernández Vallès

Convocatòria del lliurament del TFG:

Juny 2016

Contingut d'aquest volum: **MEMÒRIA**



Estudi d'optimització lumínica a l'escola Europa International School de Sant Cugat.

Escola Superior d'Enginyeries Industrials, Aeroespacial i
Audiovisual de Terrassa

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Sumari de Continguts

0	RESUM	11
1	INTRODUCCIÓ	12
1.1	Objectiu	12
1.2	Abast	12
1.3	Requisits.....	13
1.4	Justificació	13
2	ESTAT INICIAL	15
2.1	Elecció àrees a millorar-ne la il·luminació	15
2.2	Definició estat inicial	17
2.2.1	Estança 1: Lavabo.....	17
2.2.2	Estança 2: Passadissos.....	18
2.2.3	Estança 3: Aula	21
2.3	Modelització de l'estat inicial.....	22
2.3.1	Estança 1: Lavabo.....	22
2.3.2	Estança 2: Passadissos.....	22
2.3.3	Estança 3: Aula	23
2.4	Descripció necessitats lumíniques	24
2.5	Modelització de resultats estat inicial.....	26
2.5.1	Resultats estança 1: Lavabo.....	26
2.5.2	Resultats estança 2: Passadissos	27
2.5.3	Resultats passadís primera planta.....	27
2.5.4	Resultats passadís segona planta	28
2.5.5	Resultats estança 3: Aula	29
3	ESTAT DE L'ART	30
3.1	Il·luminació lateral.....	30
3.1.1	Estants de llum	30
3.2	Il·luminació zenital	31
3.2.1	Conducte solar	31
3.2.2	Claraboies	31
3.2.3	Fibra òptica.....	32

3.2.4	Heliòstats.....	32
4	ESTUDI NOVA CONFIGURACIÓ	34
4.1	Estudi dels punts crítics	34
4.1.1	Nivell d'il·luminació	34
4.1.2	Interval d'ús de la llum solar	35
4.1.3	Radiació solar.....	38
4.2	Nova configuració	39
4.2.1	Sistemes a implementar	39
4.2.1.1	Estança 1: Lavabo	39
4.2.1.1.1	Definició solució heliòstat amb seguidor solar	39
4.2.1.1.1.1	Definició dimensions heliòstat.....	45
4.2.1.1.2	Definició canvi parets compartiments.....	45
4.2.1.1.3	Automatització i control	46
4.2.1.2	Estança 2: Passadissos	50
4.2.1.2.1	Definició canvi claraboies per tubs solars.....	50
4.2.1.2.2	Definició sistema de reflexió a la primera planta	54
4.2.1.2.2.1	Plataforma reflectant	55
4.2.1.2.2.2	Conjunt de lames.....	56
4.2.1.2.2.3	Elecció de sistema.....	56
4.2.1.2.3	Automatització i control	57
4.2.1.3	Estança 3: Aula.....	58
4.2.1.3.1	Descripció instal·lació tubs solars	58
4.2.1.3.2	Automatització i control	64
4.2.2	Modelització de la nova configuració	65
4.2.2.1	Estança 1: Lavabo	66
4.2.2.2	Estança 2: Passadissos	67
4.2.2.2.1	Passadís segona planta	67
4.2.2.2.2	Passadís primera planta.....	69
4.2.2.3	Estança 3: Aula.....	71
4.2.3	Aspectes de seguretat	73
4.2.4	Modelització de resultats nova situació.....	73

4.2.4.1	Resultats estança 1: Lavabo	74
4.2.4.2	Resultats estança 2: Passadissos	75
4.2.4.2.1	Resultats passadís primera planta	75
4.2.4.2.2	Resultats passadís segona planta	76
4.2.4.3	Resultats estança 3: Aula	77
5	ANÀLISI DE RESULTATS	78
5.1	Comparació de consums de les dues instal·lacions	78
5.1.1	Estança 1: Lavabo	78
5.1.2	Estança 2: Passadissos	79
5.1.2.1	Passadís primera planta	79
5.1.2.2	Passadís segona planta	79
5.1.3	Estança 3: Aula	80
5.2	Interpretació dels resultats obtinguts	81
5.2.1	Estança 1: Lavabo	81
5.2.2	Estança 2: Passadissos	81
5.2.2.1	Passadís primera planta	81
5.2.2.2	Passadís segona planta	81
5.2.3	Estança 3: Aula	81
6	PLA MEDIAMBIENTAL	82
7	PLA DE VIABILITAT ECONÒMICA	84
7.1	Factura elèctrica	84
7.1.1	Estança 1: Lavabo	84
7.1.2	Estança 2: Passadissos	86
7.1.3	Estança 3: Aula	87
7.2	Inversió inicial	88
7.2.1	Estança 1: Lavabo	88
7.2.2	Estança 2: Passadissos	89
7.2.3	Estança 3: Aula	90
7.3	Període de recuperació	91
7.3.1	Estança 1: Lavabo	91
7.3.2	Estança 2: Passadissos	92



7.3.3	Estança 3: Aula	92
8	PLANIFICACIÓ I PROGRAMACIÓ	93
9	CONCLUSIONS I RECOMANACIONS	95
10	BIBLIOGRAFIA	96
10.1	Referències web	96

Sumari d'il·lustracions

Il·lustració 1. Europa International School.....	15
Il·lustració 2. Plànol de l'edifici amb les àrees escollides.....	16
Il·lustració 3. Finestra amb barreres exteriors (lavabo)	17
Il·lustració 4. Plànol disposició llums lavabo	18
Il·lustració 5. Claraboia superior	19
Il·lustració 6. Plataforma quadrada des de segona planta.....	19
Il·lustració 7. Plataforma quadrada des de primera planta	19
Il·lustració 8. Finestres sobre les portes i parets de les classes	19
Il·lustració 9. Plànols disposició llums passadís primera planta	20
Il·lustració 10. Plànol disposició llums segona planta	20
Il·lustració 11. Finestrals de la classe	21
Il·lustració 12. Plànols disposició llums aula	21
Il·lustració 13. Perspectiva lavabo.....	22
Il·lustració 14. Foscó als compartiments	22
Il·lustració 15. Perspectiva de l'edifici.....	22
Il·lustració 16. Il·luminació passadís primera planta	22
Il·lustració 17. Il·luminació passadís primera planta	23
Il·lustració 18. Il·luminació passadís segona planta	23
Il·lustració 19. Il·luminació passadís segona planta	23
Il·lustració 20. Perspectiva aula	23
Il·lustració 21. Il·luminació de l'aula	23
Il·lustració 22. Estant de llum	30
Il·lustració 23. Conduïda solar.....	31
Il·lustració 24. Claraboia	31
Il·lustració 25. Panells receptors i il·luminació interior	32
Il·lustració 26. Heliòstat, disc parabòlic	32
Il·lustració 27. Posició heliòstat.....	39
Il·lustració 28. Efecte panell translúcid.....	46
Il·lustració 29. Recreació cúpula de vidre.....	52
Il·lustració 30. Cúpula de vidre.....	52
Il·lustració 31. Plataforma quadrada que comunica els dos pisos	54
Il·lustració 32. Perspectiva lavabo.....	67
Il·lustració 33. Il·luminació lavabo	67
Il·lustració 34. Il·luminació lavabo	67
Il·lustració 35. Perspectiva 1 passadís segona planta.....	68
Il·lustració 36. Perspectiva 2 passadís segona planta.....	68
Il·lustració 37. Recreació claraboia amb llums	69
Il·lustració 38. Perspectiva 1 passadís primera planta	71
Il·lustració 39. Perspectiva 2 passadís primera planta	71

Il·lustració 40. Recreació plataforma quadrada amb llums	71
Il·lustració 41. Perspectiva aula	72
Il·lustració 42. Il·luminació aula	72

Sumari de taules

Taula 1. Relació entre índex de reproducció cromàtica i grup de rendiment de color.....	24
Taula 2. Necessitats lumíniques	25
Taula 3. Resultats de radiació Lavabo	26
Taula 4. Resultats de radiació passadís primera planta	27
Taula 5. Resultats de radiació passadís segona planta	28
Taula 6. Resultats de radiació Aula.....	29
Taula 7. Valors de irradiació solar mitjana en base mensual.....	38
Taula 8. Valors de radiació solar mitjana en base mensual.....	38
Taula 9. Característiques heliòstat.....	45
Taula 10. VTP per escollir el sistema de reflexió.....	57
Taula 11. Models de tubs solars	58
Taula 12. Taula de resultats adaptada	59
Taula 13. Valors mitjans mensuals de la radiació solar difusa diària	65
Taula 14. Valors mitjans mensuals de la radiació solar diària	65
Taula 15. Equivalència radiació solar difusa a la finestra amb potència	66
Taula 16. Equivalència de radiació solar a la finestra amb potència	66
Taula 17. Equivalència radiació solar difusa a la finestra amb potència	68
Taula 18. Equivalència de radiació solar a la finestra amb potència	68
Taula 19. Equivalència de lúmens segona planta per radiació solar difusa amb potència.....	70
Taula 20. Equivalència de lúmens segona planta per radiació solar amb potència	70
Taula 21. Equivalència de radiació solar difusa amb potència	72
Taula 22. Equivalència de radiació solar amb potència.....	72
Taula 23. Resultats de radiació Lavabo (nova configuració)	74
Taula 24. Resultats radiació passadís primera planta (nova configuració)	75
Taula 25. Resultats radiació passadís segona planta (nova configuració)	76
Taula 26. Resultats radiació Aula (nova configuració).....	77
Taula 27. Percentatge d'irradiació solar (lavabo)	78
Taula 28. Percentatge d'irradiació solar (primera planta)	79
Taula 29. Percentatge d'irradiació solar (segona planta).....	80
Taula 30. Percentatge d'irradiació solar (aula)	80
Taula 31. Factura elèctrica estat inicial (lavabo)	85
Taula 32. Factura elèctrica nova configuració (lavabo)	85

Taula 33. Factura elèctrica estat inicial (passadissos)	86
Taula 34. Factura elèctrica nova configuració (passadissos)	86
Taula 35. Factura elèctrica estat inicial (aula)	87
Taula 36. Factura elèctrica nova configuració (aula)	87
Taula 37. Inversió inicial (lavabo).....	88
Taula 38. Explicació preus	89
Taula 39. Inversió inicial	89
Taula 40. Explicació preus	90
Taula 41. Inversió inicial (aula)	90
Taula 42. Explicació preus	90
Taula 43. Planificació futura.....	93

Taula de diagrames

Diagrama 1. Croquis claraboies edifici.....	18
Diagrama 2. Angles de posició del Sol respecte la localització	36
Diagrama 3. Diagrama solar dels mesos Desembre a Juny	36
Diagrama 4. Diagrama solar dels mesos Juny a Desembre.....	37
Diagrama 5. Heliòstat, disc parabòlic.....	40
Diagrama 6. Exemplificació de la intensitat de radiació solar	40
Diagrama 7. Angles de posició del Sol.....	41
Diagrama 8. Angles de posició de l'heliòstat	42
Diagrama 9. Explicació gràfica reflexió de la llum	42
Diagrama 10. Croquis per l'obtenció d'angles	43
Diagrama 11. Croquis col·locació dels sensors a la finestra	44
Diagrama 12. Diagrama de flux del funcionament del seguidor solar	44
Diagrama 13. Circuit interruptor crepuscular	47
Diagrama 14. Diagrama de blocs dels sensors de llum.....	48
Diagrama 15. Esquema representatiu funcionament sensor de presència	48
Diagrama 16. Diagrama de blocs dels sensors de presència.....	49
Diagrama 17. Claraboia tradicional.....	50
Diagrama 18. Cúpula tub solar	51
Diagrama 19. Representació gràfica de la composició del tub solar	52
Diagrama 20. Representació tub solar amb els diàmetres	53
Diagrama 21. Gràfica de factor de distribució	53
Diagrama 22. Representació de la plataforma i els materials a utilitzar	55
Diagrama 23. Representació del sistema de conjunt de lames	56
Diagrama 24. Diagrama de blocs dels sensors de llum.....	57
Diagrama 25. Mapa de colors falsos (aula).....	60
Diagrama 26. Mapa de colors falsos primera opció.....	61
Diagrama 27. Mapa colors falsos segona opció.....	62



Diagrama 28. Disposició tubs solars (primera opció)	63
Diagrama 29. Disposició tubs solars (segona opció)	63
Diagrama 30. Diagrama de blocs dels sensors de llum	64
Diagrama 31. Diagrama de Gantt	94

0 RESUM

En el present treball es recorre el camí que s'ha seguit per tal de poder aportar a l'escola Europa International School una optimització lumínica mitjançant la utilització de diferents sistemes lumínics innovadors.

En una primera instància, es va analitzar l'estat en el que es trobava l'escola, per tal de poder veure quines eren els possibles dèficits amb els que es trobaven. Després de realitzar la modelització de les diferents estances es va poder comprovar que algunes d'elles estaven mancades de llum pel que no complien amb les necessitats lumíniques que estan establertes. Per la qual cosa, es van buscar possibles solucions, adaptades a cada àrea per tal d'aportar la millora adient.

En el moment en que es van tenir escollits els sistemes més adequats per cada estança, es va elaborar una descripció de com serien aquests sistemes, com també es va poder definir la incorporació del sistema d'automatització i control dels llums mitjançant l'ús de sensors. Seguidament es va efectuar la modelització de la nova configuració per tal de poder aconseguir els resultats necessaris per veure si s'havia aportat la millora buscada.

Un cop recollits els resultats i fetes les comparacions entre els dos estats, s'ha pogut observar que la millora aconseguida és evident, ja que s'han obtingut uns resultats positius, que compleixen amb les necessitats lumíniques. A més s'ha aconseguit un estudi amb una viabilitat energètica, ja que hi ha reducció en el consum energètic d'electricitat.

Finalment, s'ha realitzat un pla de viabilitat econòmica i financera per veure si l'estudi és viable econòmicament, obtenint un resultat negatiu. Però cal afegir que no era objectiu de l'estudi buscar la màxima viabilitat econòmica, per la qual cosa, aquest ja era un resultat que es tenia previst des d'un començament.

1 INTRODUCCIÓ

En aquest apartat inicial es troben cinc punts necessaris per poder entendre el projecte, des de l'Objectiu, passant per l'Abast, els Requisits i finalment la Justificació.

1.1 *Objectiu*

L'objectiu principal de l'estudi és identificar, definir i dissenyar solucions lumíniques innovadores que permetin utilitzar la irradiació solar per il·luminar diverses estances de l'escola Europa International School.

1.2 *Abast*

Per la realització de l'estudi es portaran a terme les següents activitats:

- Modelització de l'estat actual
- Definició de les necessitats lumíniques de l'edifici a estudiar
- Estudi de l'estat de l'art de les diverses tècniques d'aprofitament de la irradiació solar
- Estudiar els punts crítics com pot ser el potencial solar de la zona
- Proposta de la solució plantejada alternativa
- Càlcul i modelització de la nova solució
- Disseny d'un sistema d'automatització i control
- Pressupost
- Pla de viabilitat

Activitats que no es portaran a terme:

- Enginyeria de detall de la solució plantejada (com per exemple els plànols)

1.3 Requisits

Per tal de fer un correcte estudi s'han de tenir un compte una sèrie de requisits que són els següents:

- Complir les normatives legals per fer una millora d'aquestes característiques, ja que és un edifici on trobem nens i nenes entre 3 i 18 anys.
- Donar prioritat a la il·luminació solar.
- No és objecte de projecte la recerca de la màxima viabilitat econòmica, sinó aportar el màxim d'irradiació solar a les instal·lacions per mitjà dels nous sistemes.
- Garantir que es compleix el mínim recomanable per un centre docent.
- Procurar no modificar la estructura.
- Tenir en compte les normatives mediambientals.

1.4 Justificació

El Comitè Científic dels riscos sanitaris emergents i recentment identificats (CCRSERI) de la Comissió Europea, al 2012 va publicar un article on es parlava dels efectes a la salut a causa de la llum artificial. En aquest article es posava de manifest que algunes persones amb malalties que els fan fotosensibles afirmaven que les llums de baix consum (principalment les llums compactes fluorescents i els díodes emissors de llum (LED)), empitjoren els seus símptomes i influeixen en un gran nombre de malalties.

Avui dia parlar de leds és sinònim de reducció de consum energètic. De fet, aquest tipus d'il·luminació consumeix la meitat de potència que un fluorescent permetent estalviar força energia respecte als fluorescents i l'estalvi d'energia respecte les bombetes de baix consum pot oscil·lar entre el 50% i el 70%, és a dir, que són capaços de produir la mateixa llum però amb menys energia.

Hi ha un estalvi econòmic, ja que el consum d'energia que es necessita és molt menor, però tot i així s'abusa de la llum artificial i no se sap fins quin punt afecta al medi ambient. Diversos estudis fan referència a que aquest tipus d'il·luminació contribueix a disminuir les emissions de CO₂ a l'atmosfera a conseqüència de ser molt més eficients. A més són totalment reciclables i compleixen les normatives europees per la protecció i respecte al medi ambient.

Pot semblar que tot són avantatges però com s'ha vist al començament hi ha efectes sobre la salut, un dels aspectes amb més importància i més en l'estudi en que es basarà el treball ja que es realitzarà a una escola. Tot i haver un gran estalvi econòmic, es fa un ús excessiu de la llum artificial i es potencia molt poc la llum natural.



En aquest treball el que es busca és millorar diferents àrees d'una escola mitjançant la incorporació d'innovacions tecnològiques totes elles relacionades amb potenciar la llum solar i reduir el consum de llum artificial.

2 ESTAT INICIAL

En aquest capítol es mostrarà l'estudi que s'ha realitzat per tal d'analitzar com es troba l'estat inicial. En primer lloc, s'ha realitzat l'elecció de les àrees a millorar, en base a la ubicació principalment. En segon lloc, s'ha elaborat una descripció de com es troben les estances escollides, per tal de veure quin són els punts que es podrien optimitzar. A continuació s'ha efectuat la modelització de les diferents àrees i tot seguit s'ha dut a terme la modelització dels resultats, sent aquest l'últim pas de l'estudi de l'estat inicial.

2.1 Elecció àrees a millorar-ne la il·luminació

Abans de començar el treball, és interessant saber una mica sobre l'edifici en el que es portarà a terme l'estudi. L'escola va ser fundada al 1996 i s'ha anat construint per fases a mesura que ha anat incrementant el nombre d'estudiants. Avui dia consta de 4 edificis, 3 destinats a aules i un poliesportiu.

El primer pas per poder començar l'estudi va ser imprescindible aconseguir els plànols de la instal·lació per tal de poder tenir totes les dades geomètriques.

Un cop aconseguits, es van haver de determinar quines anaven a ser les àrees a les quals es volia fer l'estudi i les raons d'aquesta elecció.

Com ja s'ha comentat, l'escola està formada per 4 edificis, per tant la primera decisió va ser escollir quin era l'edifici que permetia fer més millores i tenia les pitjors condicions d'il·luminació.

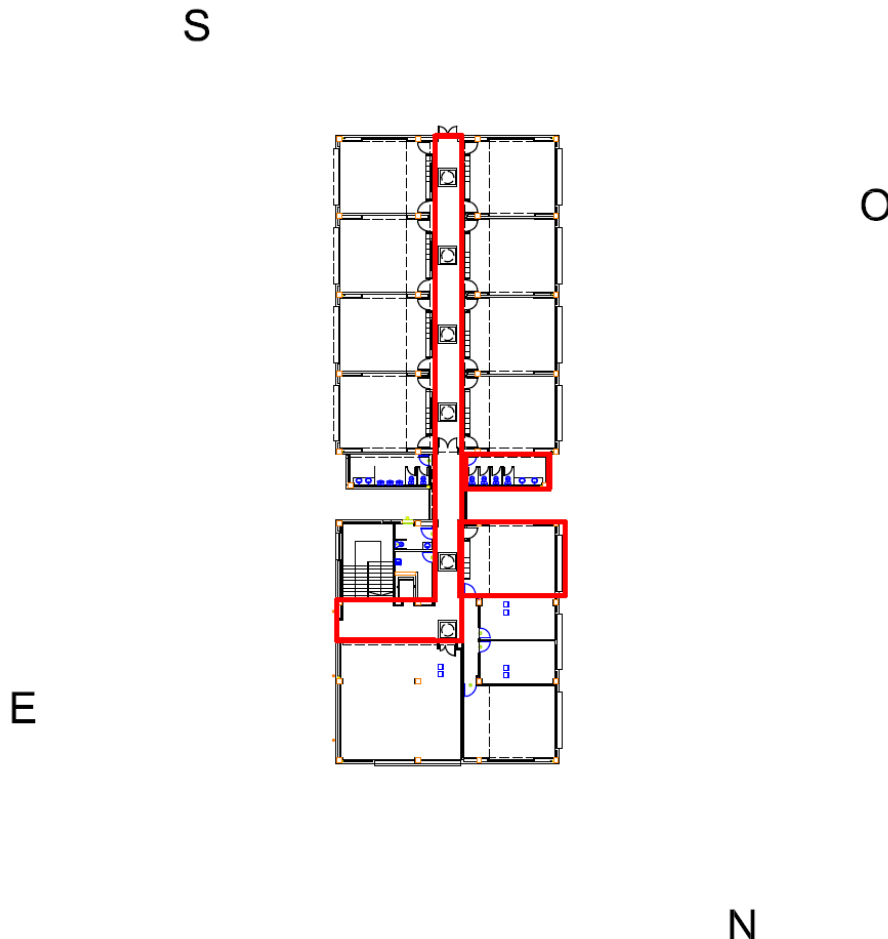
Es va decidir treballar amb la primera fase construïda, ja que es tracta de l'edifici més vell i a més està situat al sud-oest, de manera que és la part amb menys hores de Sol durant el dia.



Il·lustració 1. Europa International School

Font: europais.com

Després d'escollir l'edifici, es va passar a determinar les àrees. Per tal de poder implementar diferents sistemes, es van escollir 3 diferents estances: un lavabo, una classe i els passadissos (primera i segona planta).



II·lustració 2. Plànol de l'edifici amb les àrees escollides

Font: elaboració pròpia

Tant el lavabo com l'aula, estan orientats al nord-oest, de manera que durant l'horari escolar, reben molt poques hores de llum, fent que en molts moments sigui necessària la utilització de llum artificial.

La raó per la qual es va escollir el passadís, va ser perquè és una zona on les llums estan sempre enceses i és un consum energètic constant que es vol reduir i intentar treure el màxim profit del sistema de claraboies que ja tenen instal·lat mitjançant alguna modificació.

2.2 Definició estat inicial

Actualment, l'edifici sobre el qual es treballarà consta d'unes instal·lacions amb grans obertures a l'exterior. Tot i que l'edifici disposa de grans finestrals fent que hi entri molta llum solar, hi ha zones de l'escola que no es beneficien molt d'aquesta avantatge, aquestes zones són les que s'han comentat anteriorment.

Cal aclarir que l'escola està en un període de canvi de la il·luminació, han passat dels fluorescents i les bombetes convencionals als *LED*. Ara mateix, les instal·lacions que es sotmetran a l'estudi ja tenen totes les lluminàries de tipus *LED*.

Ara es passarà a analitzar l'estat en el qual es troben les diferents estances.

2.2.1 Estança 1: Lavabo

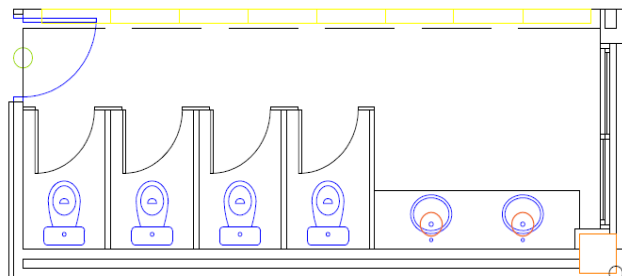
Als lavabos, el primer inconvenient amb el que compta són unes barreres exteriors de formigó per tal de que no es vegi molt el de dins, és a dir, és per un tema d'intimitat. Això evita que hi entri força llum de l'exterior.

En quant a la disposició de la lluminària, aquesta està disposada de tal manera que a la part on estan els compartiments no hi ha cap llum directa. Si es fa referència a la tipologia de llums, hi han de dos tipus, 8 fluorescents LEDS de 22W i 2000lm i també hi han 2 bombetes de baix consum a la zona de les piques, que estan encastades i són de 18W i 1200lm.



Il·lustració 3. Finestra amb barreres exteriors (lavabo)

Font: elaboració pròpia



■ LEDs: 22W, 2000lm
■ Bombetes baix consum: 18W, 1200lm

Il·lustració 4. Plànol disposició llums lavabo
Font: elaboració pròpia (Autocad)

2.2.2 Estança 2: Passadissos

Els passadissos ja compten amb un sistema d'il·luminació natural, que són diverses claraboies, però no aporten tota la llum que haurien, ja que la part superior està feta d'un material translúcid fent que es perdi molta llum. No només hi ha entrada de llum d'aquest tipus al passadís superior, sinó que també hi han uns plataformes quadrades (*Il·lustració 6*) al terra del segon pis per il·luminar el primer pis però per un tema d'evitar que es vegi res des del pis de sota, també són translúcids de manera que encara es perd més llum. El *Diagrama 1* és un croquis per tal d'entendre el que s'estava explicant anteriorment.

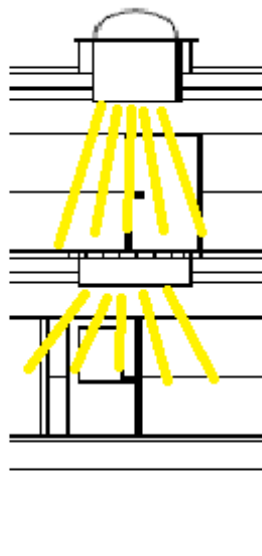


Diagrama 1. Croquis claraboies edifici
Font: elaboració pròpia

Apart d'això també hi ha unes finestres a la part superior de les portes i les parets de les classes per tal d'intentar aprofitar el màxim la llum que pot entrar de les finestres de les classes. S'ha de dir, que aquestes finestres no aporten molta llum al passadís, ja que es troben damunt dels armaris i queda com una rapissa on les mestres acostumen a posar caixes i altres objectes.

En quant a la tipologia de llums, hi ha de dos tipus al dos passadissos. A la primera planta hi han 25 fluorescents LEDS de 22W i 2000lm i 7 bombetes de baix consum de 18W i 1200lm. A la segona planta hi han 20 fluorescents LEDS de 22W i 2000lm i 4 bombetes de baix consum de 18W i 1200lm.



Il·lustració 5. Claraboia superior
Font: elaboració pròpia



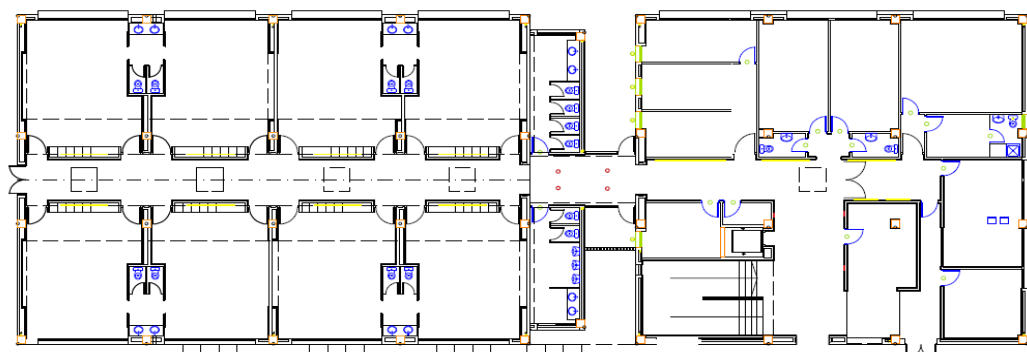
Il·lustració 6. Plataforma quadrada des de segona planta
Font: elaboració pròpia



Il·lustració 7. Plataforma quadrada des de primera planta
Font: elaboració pròpia



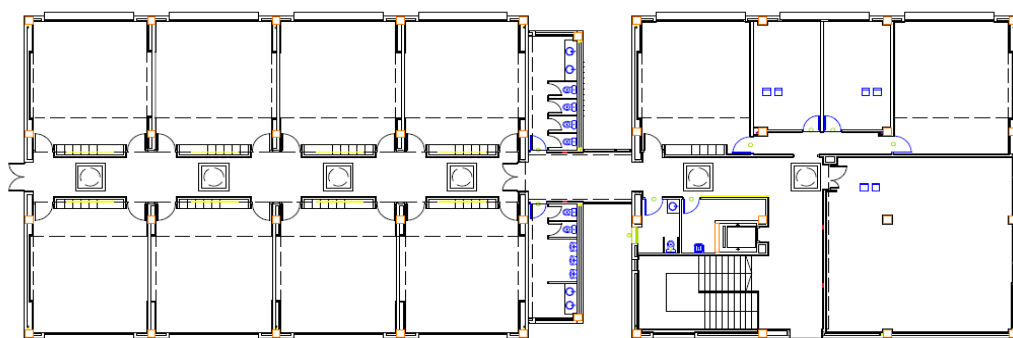
Il·lustració 8. Finestres sobre les portes i parets de les classes
Font: elaboració pròpia



■ LEDs: 22W, 2000lm
■ Bombetes baix consum: 18W, 1200lm

II-lustració 9. Plànol disposició llums passadís primera planta

Font: elaboració pròpia (Autocad)



■ LEDs: 22W, 2000lm
■ Bombetes baix consum: 18W, 1200lm

II-lustració 10. Plànol disposició llums segona planta

Font: elaboració pròpia (Autocad)

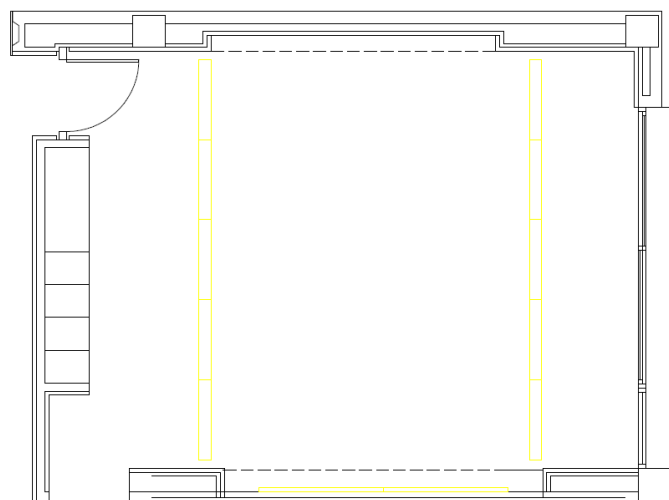
2.2.3 Estança 3: Aula

L'aula en canvi no té cap punt a destacar d'aportació especial de llum solar o impediment per que hi entri al màxim la llum. Només consta de gran finestres.

En quant a la tipologia de llums, hi ha 10 fluorescents LEDS de 22W i 2000lm.



Il·lustració 11. Finestres de la classe
Font: elaboració pròpia



■ LEDS: 22W, 2000lm

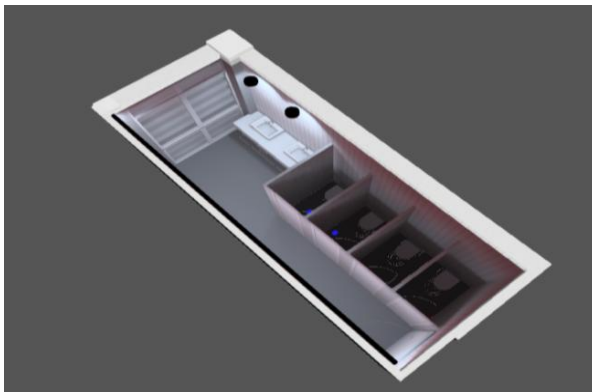
Il·lustració 12. Plànols disposició llums aula
Font: elaboració pròpia (Autocad)

2.3 Modelització de l'estat inicial

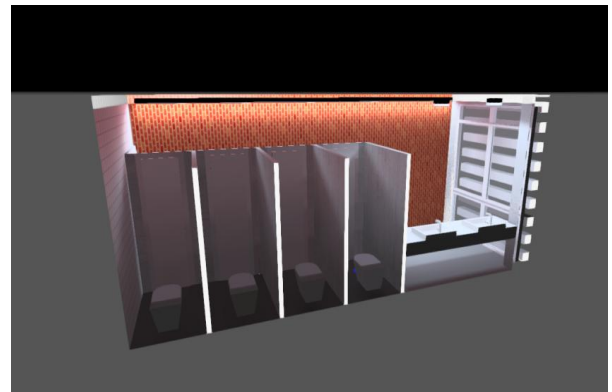
En aquest apartat es podrà veure la modelització que s'ha realitzat per tal de poder treure els resultats de l'estat inicial. El que es vol mostrar principalment és la il·luminació que proporcionen els llums en cadascuna de les estances i les mancances trobades en algunes d'elles.

A l'Annex 1 es troba la descripció del procediment a seguir per tal de realitzar la modelització i el càlcul de resultats.

2.3.1 Estança 1: Lavabo



Il·lustració 13. Perspectiva lavabo
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



Il·lustració 14. Fosc als compartiments
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)

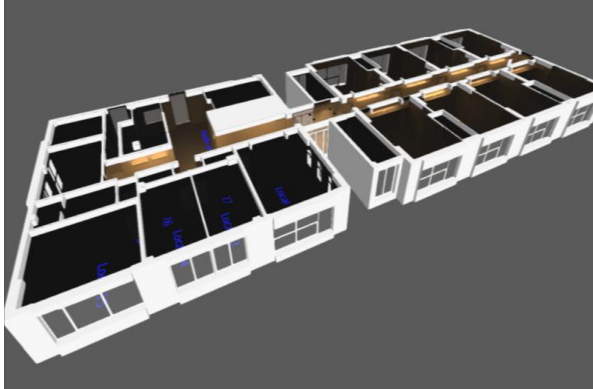
2.3.2 Estança 2: Passadissos



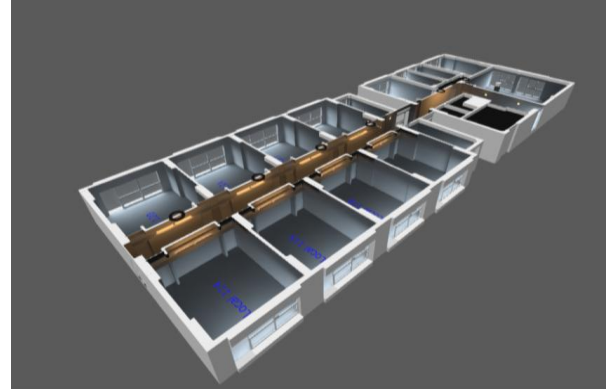
Il·lustració 15. Perspectiva de l'edifici
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



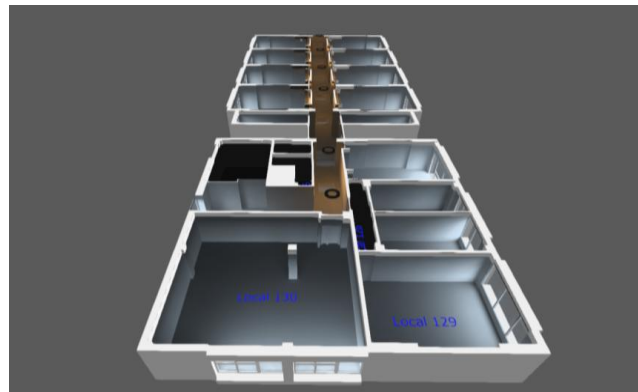
Il·lustració 16. Il·luminació passadís primera planta
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



Il·lustració 17. Il·luminació passadís primera planta
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)

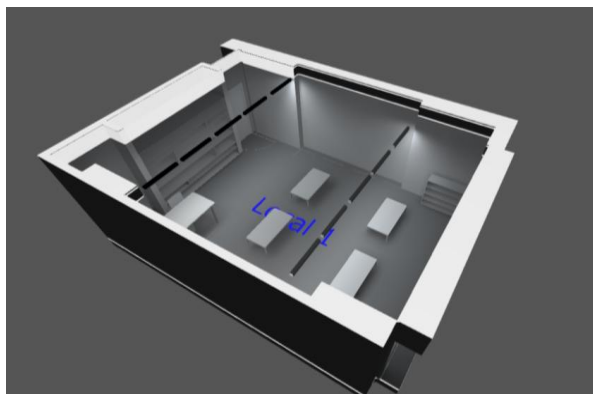


Il·lustració 18. Il·luminació passadís segona planta
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



Il·lustració 19. Il·luminació passadís segona planta
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)

2.3.3 Estança 3: Aula



Il·lustració 20. Perspectiva aula
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



Il·lustració 21. Il·luminació de l'aula
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)

2.4 Descripció necessitats lumíniques

Per tal de saber quines són les necessitats lumíniques vigents per un centre docent, s'ha consultat la *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, Centros Docentes*, publicada per Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, el març del 2001^[1].

Per tal d'entendre millor els paràmetres, a continuació s'explicaran breument.

- Enlluernament directe es pot produir per part de llums, lluminàries i finestres, aquest s'elimina amb la utilització de lluminàries que redistribueixin el flux d'aquestes de forma idònia per l'activitat a realitzar. Per tal de validar la idoneïtat s'utilitza el criteri C.I.E, sistema que classifica les activitats en cinc grups que defineixen altres classes de qualitat. Cada grau de qualitat té assignat un índex d'enlluernament. Per això se'n diu classe de qualitat d'enlluernament directe i la classificació és la següent:

- Classe A: per una activitat visual molt alta.

- Classe B: per una activitat visual alta.

- Classe C: per una activitat visual mitjana.

- Grup de rendiment de color: és la capacitat d'una font de llum artificial a reproduir els colors, sent la referència la llum del Sol. Aquesta capacitat es mesura en un percentatge on el 100% ho dona la llum natural de Sol. També ve establert pel criteri C.I.E CIE (1A, 2A, 1B, 2B).

- Índex de reproducció cromàtica: és una mesura de la capacitat que una font lluminosa té per reproduir fidelment els colors de diversos objectes en comparació d'una font de llum natural o ideal. Està relacionat amb el grup de rendiment de color.

Taula 1. Relació entre índex de reproducció cromàtica i grup de rendiment de color

Font: Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, Centros Docentes

Índex de reproducció cromàtica [Ra]	Grup de rendiment de color
Excel·lent (90-100)	1A
Bo (80-90)	2A
Raonable (70-80)	1B
Dolenta (<70)	2B

- UGR: fa referència al índex d'enlluernament molest (o psicològic) procedent directament de les lluminàries d'una il·luminació interior, definit en la publicació CIE (Comissió Internacional d'Enllumenat) nº 117.



Taula 2. Necessitats lumíniques

Font: elaboració pròpia

Tipus dependència	Mínim [Lux]	Òptim [Lux]	Màxim [Lux]	Classe de qualitat al enlluernament directe	Grup de rendiment de color	Index de reproducció cromàtica [Ra]	UGR
Zones generals de l'edifici							
Passadissos	150	425	700	C	2A	80	25
Lavabos	50	175	300	C	2A		
Aules							
Enllumenat general aules	350	675	1000	B	1B	80	19
Pissarra	300	500	700	B	1B	80	19

Els paràmetres establerts^[2] en aquesta taula (*Taula 2*) estan en vigor actualment i són els que s'han de seguir per tal de complir la normativa establerta.

2.5 Modelització de resultats estat inicial

A continuació es mostrarà la recollida dels resultats obtinguts durant el càlcul en quatre moments del dia (9h del matí, 12h migdia, 17h de la tarda, 19h de la tarda). També s'ha decidit fer càlculs en diferents moments de l'any, ja que la posició i la inclinació en què arriba el Sol varia. Això es pot saber fent un diagrama solar, que es comentarà a l'apartat 4.1. (Estudi de punts crítics).

Per tal de poder veure si els luxs necessaris estan sent complerts, s'ha de mirar quins són sense llum diürna, per no tenir cap influència de llum solar. Si es realitza aquest càlcul a totes les hores marcades, dona el mateix resultat, de manera que es pot saber quins són els luxs que es reben de llum artificial. Una altre de les coses que s'ha fet, ha sigut calcular els luxs en diferents situacions, depenent de l'estat meteorològic.

Abans de passar als resultats cal dir que en totes les valoracions dels resultats s'han tingut en compte les necessitats lumíniques, apartat 2.4 (Descripció necessitats lumíniques). A més, per tal de que es vegi més clarament els dèficits de llum i la superació dels luxs necessaris, s'han marcat amb vermell i verd respectivament.

2.5.1 Resultats estança 1: Lavabo

Taula 3. Resultats de radiació Lavabo
Font: elaboració pròpia

Dia	Hora	Cel cobert			Cel mig			Cel sense núvols			Sense llum diürna		
		Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]
28/01/2016	9:00h	24	274	639	31	278	648	61	305	701	4	264	620
28/01/2016	12:00h	27	297	680	37	328	747	65	324	724	4	264	620
28/01/2016	17:00h	25	276	641	30	272	634	59	294	667	4	264	620
28/01/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	264	620
16/03/2016	9:00h	26	289	665	39	338	767	65	324	735	4	264	620
16/03/2016	12:00h	28	312	708	42	361	820	68	336	750	4	264	620
16/03/2016	17:00h	26	289	665	32	288	661	63	317	703	4	264	620
16/03/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	264	620
14/05/2016	9:00h	26	294	674	40	353	789	68	338	758	4	264	620
14/05/2016	12:00h	29	321	725	45	383	869	71	354	796	4	264	620
14/05/2016	17:00h	27	311	705	35	316	707	65	329	725	4	264	620
14/05/2016	19:00h	24	289	666	33	292	664	63	314	702	4	264	620
16/09/2016	9:00h	26	283	655	35	316	721	67	332	768	4	264	620
16/09/2016	12:00h	30	312	707	42	383	873	70	347	783	4	264	620
16/09/2016	17:00h	27	300	686	34	304	691	65	327	720	4	264	620
16/09/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	264	620

Un cop realitzats els resultats, es pot veure que al lavabo es fan servir més luxs dels marcats per les necessitats lumíniques, de manera que la millor opció per tal d'optimitzar al màxim aquesta sala és procurar no fer ús de la llum artificial i treure el màxim profit de la llum solar i això es farà fent servir els sistemes a implementar.

2.5.2 Resultats estança 2: Passadissos

Per tal de veure les necessitats que es requereixen a cadascun dels passadissos i saber si es compleixen les pautes marcades per la *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, Centros Docentes*, es farà una recollida de resultats dels dos passadissos per separat.

2.5.3 Resultats passadís primera planta

Taula 4. Resultats de radiació passadís primera planta

Font: elaboració pròpia

Dia	Hora	Cel cobert			Cel mig			Cel sense núvols			Sense llum diürna		
		Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]
28/01/2016	9:00h	98	296	513	100	302	518	114	315	525	2	230	458
28/01/2016	12:00h	100	299	519	111	329	523	117	321	540	2	230	458
28/01/2016	17:00h	97	295	512	99	298	515	112	312	523	2	230	458
28/01/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	230	458
16/03/2016	9:00h	101	300	532	109	321	539	119	322	529	2	230	458
16/03/2016	12:00h	103	305	558	112	327	545	122	329	541	2	230	458
16/03/2016	17:00h	99	299	528	102	306	520	110	302	512	2	230	458
16/03/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	230	458
14/05/2016	9:00h	100	300	521	103	307	522	119	324	536	2	230	458
14/05/2016	12:00h	110	306	533	115	331	556	123	328	548	2	230	458
14/05/2016	17:00h	97	298	509	99	298	512	115	320	520	2	230	458
14/05/2016	19:00h	94	295	505	94	293	509	110	309	509	2	230	458
16/09/2016	9:00h	99	298	522	102	305	523	117	321	528	2	230	458
16/09/2016	12:00h	108	306	531	106	313	530	120	326	536	2	230	458
16/09/2016	17:00h	97	296	519	99	296	501	113	304	502	2	230	458
16/09/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	230	458

Si s'analitzen els resultats obtinguts, en aquest cas es mostra una taula (*Taula 4*) amb el color vermell com a majoritari, indicant que al passadís li falta il·luminació pel que està marcat a les necessitats lumíniques. Per tant, s'ha d'implementar un sistema que millori aquestes condicions per tal d'arribar al que està establert.

2.5.4 Resultats passadís segona planta

Taula 5. Resultats de radiació passadís segona planta

Font: elaboració pròpia

Dia	Hora	Cel cobert			Cel mig			Cel sense núvols			Sense llum diürna		
		Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]
28/01/2016	9:00h	95	314	513	94	314	518	100	316	525	4	248	463
28/01/2016	12:00h	102	317	519	108	341	523	112	322	540	4	248	463
28/01/2016	17:00h	93	313	512	93	310	515	99	317	523	4	248	463
28/01/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	248	463
16/03/2016	9:00h	103	317	532	104	333	539	113	323	529	4	248	463
16/03/2016	12:00h	112	321	558	127	339	545	119	325	541	4	248	463
16/03/2016	17:00h	103	317	528	115	318	520	113	304	512	4	248	463
16/03/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	248	463
14/05/2016	9:00h	105	318	521	108	319	522	118	326	536	4	248	463
14/05/2016	12:00h	116	322	533	119	343	556	118	325	548	4	248	463
14/05/2016	17:00h	112	320	509	110	310	512	115	323	520	4	248	463
14/05/2016	19:00h	103	317	505	107	305	509	110	312	509	4	248	463
16/09/2016	9:00h	101	316	522	101	317	523	112	322	528	4	248	463
16/09/2016	12:00h	110	320	531	123	325	530	118	324	536	4	248	463
16/09/2016	17:00h	104	317	519	112	308	501	112	305	502	4	248	463
16/09/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	248	463

Com en el cas anterior, amb els resultats obtinguts es pot veure que al segon passadís també falta il·luminació segons el que està marcat per les necessitats lumíniques, de manera que la millor opció per tal de complir les necessitats i optimitzar la llum solar, és implementar un sistema en el qual hi hagi aprofitament de les instal·lacions, és a dir, les claraboies.

Si es comparen tots dos passadissos, es pot veure que el de la primera planta té més falta d'il·luminació que el de la segona, això es pot ser degut al fet de tenir claraboies que reben llum solar directa afavorint l'entrada de llum, en canvi les que donen al primer passadís, no reben tanta il·luminació.

2.5.5 Resultats estança 3: Aula

Taula 6. Resultats de radiació Aula

Font: elaboració pròpia

Dia	Hora	Cel cobert			Cel mig			Cel sense núvols			Sense llum diürna		
		Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]
28/01/2016	9:00h	141	286	787	197	398	850	272	543	903	0	261	503
28/01/2016	12:00h	210	437	810	316	633	1013	346	689	1081	0	261	503
28/01/2016	17:00h	118	237	680	168	335	637	226	446	843	0	261	503
28/01/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	261	503
16/03/2016	9:00h	241	486	782	297	593	982	328	644	1236	0	261	503
16/03/2016	12:00h	296	594	918	352	700	1218	410	817	1378	0	261	503
16/03/2016	17:00h	185	375	716	231	467	925	240	485	1118	0	261	503
16/03/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	261	503
14/05/2016	9:00h	266	533	808	312	631	1259	317	645	1379	0	261	503
14/05/2016	12:00h	328	650	1042	345	680	1444	382	759	1512	0	261	503
14/05/2016	17:00h	280	598	795	300	596	1166	324	639	1311	0	261	503
14/05/2016	19:00h	244	489	645	244	489	1049	267	533	1144	0	261	503
16/09/2016	9:00h	217	434	785	337	675	994	345	690	1052	0	261	503
16/09/2016	12:00h	305	610	975	372	739	1199	361	720	1231	0	261	503
16/09/2016	17:00h	238	479	711	306	610	897	334	665	994	0	261	503
16/09/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	261	503

Si s'analitzen els resultats, es pot veure que només en alguns moments del dia es compleixen les necessitats lumíniques, generalment això passa quan es dona un escenari favorable o quan la posició del Sol es troba ja situat al costat de les finestres. Per aquesta raó s'ha decidit instaurar sistemes de millora, per reduir l'ús de llum artificial i treure més profit de la llum natural.

3 ESTAT DE L'ART

En aquest capítol s'ha realitzat una recerca sobre quines són les opcions que hi ha per tal de beneficiar-se al màxim de la llum solar. S'ha pogut veure que existeixen diferents sistemes i que es poden classificar en tres grups; la il·luminació lateral que prové generalment de les finestres, la il·luminació zenital que és aquella que aprofita la posició del Sol i la incidència pel sostre i finalment la il·luminació combinada.

En aquest apartat s'explicaran quins són aquests diferents sistemes que existeixen en el mercat.

3.1 Il·luminació lateral

3.1.1 Estants de llum

Els estants de llum són uns dispositius reflectants que es troben a prop de les obertures de finestres per interceptar i reflectir la llum d'una manera uniforme a tota la sala. Té l'efecte d'incrementar la component reflectida i adreçar-la al sostre que treballarà com una font secundària de llum natural. Aquesta capacitat de reflectir ve donada pels materials utilitzats per reduir al mínim la il·luminació a prop de les finestres i millorar la qualitat de la llum del dia a l'interior dels edificis.



Il·lustració 22. Estant de llum
Font: arq.clarin.com

3.2 Il·luminació zenital

3.2.1 Conducte solar

Els conductes solars o dispositius tubulars d'il·luminació natural són uns tubs que capten la llum del Sol mitjançant unes cúpules situades generalment a la coberta dels edificis o també es poden trobar a les parets laterals. De manera que estan classificats dins del grup de il·luminació lateral i zenital. Es caracteritzen per transportar la llum diversos metres cap a l'interior de l'edifici fent servir un conducte altament reflector, permetent il·luminar espais foscos o sense finestres^[3].



Il·lustració 23. Conducte solar
Font: teclusol.com

3.2.2 Claraboies

Una lluernia o claraboia és una finestra situada al sostre o part superior d'una paret per tal de proporcionar llum a una sala. Acostumen a situar-se al terrat, ja que la il·luminació que hi arriba és molt superior a la que arribar a una finestra lateral. El seu objectiu és deixar passar la llum del Sol d'un mode uniforme.



Il·lustració 24. Claraboia
Font: prefire.es

3.2.3 Fibra òptica

Des del començament de la existència de la fibra òptica es va veure relacionada amb la utilització per la transmissió de dades i telefonia, però actualment també té un ús a la il·luminació. La fibra òptica es fa servir per la transmissió de llum solar de l'exterior a l'interior. Consisteix en uns panells que ofereixen un sistema d'il·luminació interior per mitjà de la captació de llum natural des de l'exterior. Un panell receptor amb lents pivotants de seguiment solar el que fa és captar la llum i la transporta pels cables de fibra òptica fins a arribar a distàncies de 20 metres. Els cables el que fan es portar la llum fins a uns altres panells, en aquest cas de distribució que són els encarregats d'il·luminar l'interior.



Il·lustració 25. Panells receptors i il·luminació interior
Font: ecosistemaurbano.org

3.2.4 Heliòstats

Els heliòstats són un conjunt de miralls que acostumen a moure's sobre dos eixos, permetent els moviments necessaris per mantenir el reflex dels rajos del Sol que incideixen sobre els miralls en tot moment, ja sigui en un punt o en una petita superfície. Hi ha diferents formes depenent de les necessitats que hi hagin d'il·luminació.



Il·lustració 26. Heliòstat, disc parabòlic
Font: solar-energia.net

En aquest punt es convenient deixar clara la diferència entre els heliòstats i els mòduls fotovoltaics convencionals, ja que a simple vista s'assemblen molt però tenen una funció completament diferent: energia solar fotovoltaica i energia solar tèrmica.

La principal diferència és que els mòduls fotovoltaics el que fan és captar la radiació solar, mentre els heliòstats el que fan es reflectir aquesta radiació. És a dir, els mòduls fotovoltaics produeixen energia directament a través d'una reacció física mitjançant l'excitació d'electrons d'un material semiconductor, en canvi, els heliòstats són un mecanisme per concentrar energia tèrmica, tot i que la utilització que tindrà en el present estudi serà la de reflectir únicament la radiació solar com a font d'il·luminació que també és un dels àmbits en els quals es fa servir.

4 ESTUDI NOVA CONFIGURACIÓ

En aquest capítol es mostrarà tot l'estudi que s'ha realitzat per tal de poder definir la nova configuració. En primer lloc, s'ha considerat necessari estudiar quins són els punts crítics. Aquests s'han trobat mitjançant la realització de l'estat inicial un cop analitzats els resultats. En segon lloc, s'han escollit i definit els sistemes que proporcionaran l'optimització que es busca. A continuació s'ha efectuat la modelització de les diferents estances amb els corresponents sistemes per poder dur a terme la modelització dels resultats, sent aquest l'últim pas de l'estudi de la nova configuració.

4.1 *Estudi dels punts crítics*

Per tal de fer l'estudi de quins són els punts crítics de cadascuna de les àrees, s'han de tenir en compte els resultats obtinguts i les necessitats lumíniques.

El principal inconvenient de les àrees escollides per l'estudi, és la seva orientació ja que es troben al sud-oest. Tot i que l'escola està orientada cap al sud, sent la manera d'obtenir el màxim de hores de Sol a la majoria dels edificis, això no treu que hi hagi zones, com són les que s'estan estudiant, que es queden sense aquesta avantatge.

A continuació, es passarà a fer l'estudi dels punts crítics que són els següents: els luxs necessaris, el interval d'ús de la llum solar i la radiació solar.

4.1.1 *Nivell d'il·luminació*

Quan es fa referència al nivell d'il·luminació, el que es vol dir és que s'ha de complir el que està marcat per les necessitats lumíniques. Les necessitats lumíniques estan recollides en una guia que va fer el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía al març del 2001. Aquest Institut pertany al Ministeri de Indústria, Energia i Turisme del Govern d'Espanya i el que es va establir van ser uns requisits mínims d'eficiència energètica a la il·luminació interior.

En aquests requisits, la *secció HE-3 del Código Técnico de la Edificación* “estableix com exigència bàsica que els edificis, tant els nous com els que es reformin, han de disposar d'instal·lacions d'il·luminació adequades a les necessitats dels usuaris i a la vegada energèticament eficaces. Per a això l'eficiència energètica del sistema no haurà de superar un valor límit i haurà d'explicar també amb un sistema de control que permeti ajustar l'encès a l'ocupació real de la zona, així com un sistema de regulació que optimitzi l'aprofitament de la llum natural.” (*Código Técnico de la Edificación (CTE)*, aprovat per Real Decreto 314/2006, de 17 de març 2006).^[4]

En el cas d'obtenir resultats favorables, llavors s'ha de procurar optimitzar reduint l'ús de la llum artificial i traient el màxim profit de la llum solar, tal i com també queda reflectit en el CTE.

4.1.2 Interval d'ús de la llum solar

Un altre dels punts crítics és el interval d'ús de la llum solar. Amb la fi de saber de quines hores es disposa de llum directa a les zones on es vol fer l'estudi, es realitza un diagrama solar. Un diagrama solar, en anglès *sun path*, és un diagrama on apareixen els canvis significatius de temporada-i-hora de posició del Sol, on també hi ha la duració de llum del dia, en què rota la Terra i orbita al voltant del Sol.

La posició del Sol és un factor important en el rendiment dels sistemes d'energia solar, ja que sabent la ubicació exacta de la trajectòria del Sol i les condicions climàtiques es pot treure un major profit d'aquests sistemes, sobretot dels seguidors solars.

Per realitzar els diagrames solars, s'ha fet servir una pàgina web que se'n diu <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>, on es necessari saber les coordenades de latitud i longitud del lloc d'on es vol fer el diagrama. En aquest cas és l'escola Europa International School (41.469782500, 2.093837900). A més, també cal especificar la zona horària que és UTC+1.

Un cop es marquen aquests paràmetres i l'interval de mesos, s'obté el diagrama solar. Per tal de poder saber més informació sobre les hores que rep la finestra de les sales que s'estan estudiant, cal saber la orientació d'aquestes. Per fer això hi ha una pàgina que se'n diu: <http://sunearthtools.com>, on es pot introduir la localització i ofereix la posició horitzontal del Sol respecte el lloc que s'ha introduït. Amb aquests diagrames també es pot extreure la orientació de les finestres.

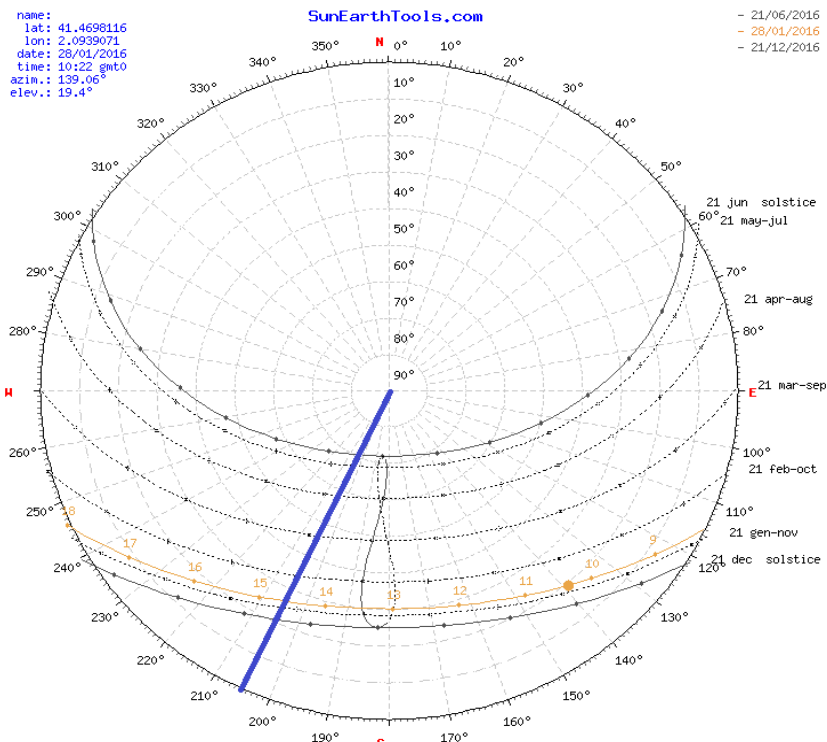


Diagrama 2. Angles de posició del Sol respecte la localització
Font: sunearthtools.com

Amb aquest diagrama s'ha pogut obtenir la orientació tant l'aula com el lavabo que és de 205° , de manera que quan es realitzin els diagrames solars, es podrà saber exactament quin és el rang de hores de llum solar directa que reben aquestes sales.

A continuació es mostraran els diagrames solars que s'han obtingut. Cal dir que tots dos fan referència a la façana de l'edifici on es troben les finestres del lavabo i l'aula.

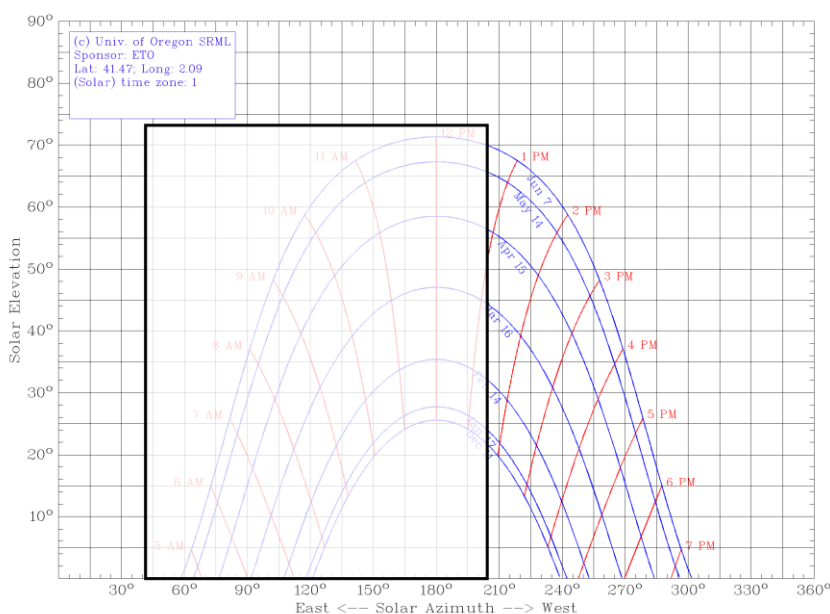


Diagrama 3. Diagrama solar dels mesos Desembre a Juny
Font: solar.dat.uoregon.edu/

Aquest diagrama (*Diagrama 3*) fa referència a la posició del Sol durant els mesos de Desembre a Juny. El límit del quadre a la part dreta marca la posició on es troben les finestres, sobre aquesta mateixa línia es poden veure els moments en els que arriba radiació solar directa a les finestres. Cap a la dreta, són les hores a les quals el Sol està situat a l'oest, igual que les finestres. Per tant, tenim Sol però les sales no reben implícitament la radiació directa.

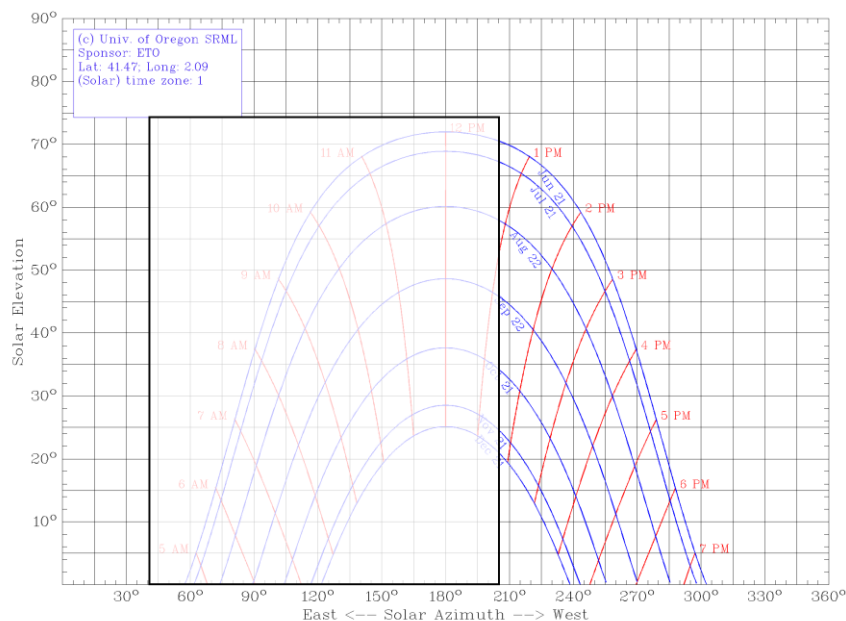


Diagrama 4. Diagrama solar dels mesos Juny a Desembre
 Font: solardat.uoregon.edu/

En aquest altre diagrama (*Diagrama 4*), en canvi, es fa referència a la posició del Sol durant els mesos de Juny a Desembre. El límit del quadre a la part dreta torna a marcar la posició on es troben les finestres i sobre aquesta mateixa línia es poden veure els moments en els que arriba radiació solar directa a les finestres. Cap a la dreta, són les hores a les quals el Sol està situat a l'oest, igual que les finestres. Per tant, tenim Sol però les sales no reben implícitament la radiació directa.

Si es té en compte que l'horari de les classes a l'escola és de 9 del matí a 5 de la tarda, analitzant l'interval d'ús de les sales, es pot veure que la majoria de les hores no hi arriba radiació solar directe. D'aquesta manera, veient els resultats i tenint en compte les necessitats lumíniques, la nova configuració ha de tenir sistemes en els quals, la seva principal funció sigui intentar captar al màxim radiació solar, per tal de transportar-la a les sales i que aquestes disposin de més hores de Sol.

4.1.3 Radiació solar

L'últim punt crític que s'estudiarà és la radiació solar. La radiació solar és el conjunt de radiacions electromagnètiques emeses pel Sol i està relacionada amb la irradiació solar, sent aquesta l'energia per unitat de superfície al llarg d'un temps i té com unitats (J/m^2).

Saber la radiació solar què hi ha a la població on es situen els sistemes d'energia solar és vital, perquè aquests sistemes funcionen a partir d'aquesta. Com normalment als estudis el que s'analitza són les irradiacions solars globals diàries, per poder saber quina és la radiació solar, s'ha hagut de buscar quina era aquesta irradiació i després calcular la radiació mitjançant un canvi d'unitats.

$$1 \text{ MJ/m}^2 = 1 \cdot 10^6 \text{ J/m}^2 = 1 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{s/m}^2 = 0,2777 \text{ kWh/m}^2$$

Taula 7. Valors de irradiació solar mitjana en base mensual^[5]

Font: icaen.gencat.cat

Irradiació solar global diària [MJ/m^2]												
Ubicació	Gen.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dec.
Sant Cugat	7,25	10,33	14,66	19,26	22,75	24,22	23,24	20,04	15,56	10,99	7,54	6,61

*Taula extreta de "Atlas radiació"

Taula 8. Valors de radiació solar mitjana en base mensual

Font: elaboració pròpia

Radiació solar global diària [kWh/m^2]												
Ubicació	Gen.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dec.
Sant Cugat	2,01	2,87	4,07	5,35	6,32	6,72	6,45	5,56	4,32	3,05	2,10	1,83

Observant els resultats que mostra la taula de radiació, s'arriba a la conclusió que els mesos en que més rendiment es pot treure dels sistemes són als mesos de primavera i estiu, perquè és quan més radiació hi ha, però tot i això, a la resta d'estacions tot i que el seu rendiment no sigui el màxim, es podrà treure benefici de l'aportació que oferiran els nous sistemes a les diferents àrees.

4.2 Nova configuració

Un cop analitzats tots els resultats de l'estat inicial, sabent quines són les necessitats lumíniques que es requereixen a cada àrea i quin és l'estat de l'art, el següent pas és definir una nova configuració per tal d'optimitzar i reduir el consum de llum artificial i aprofitar la llum solar. Tot això s'ha de fer complint tots els requisits que estan establerts.

A fi d'aconseguir tot això cal definir quin seran els sistemes que s'implementaran a cada àrea.

4.2.1 Sistemes a implementar

Com ja s'ha comentat a la introducció d'aquest apartat, a les diferents estances s'implementaran diferents sistemes d'aprofitament de la llum solar.

Però com s'ha pogut veure a l'estat de l'art, hi ha diferents sistemes per tal d'aprofitar aquesta llum, de manera que en aquest estudi s'implementaran tres d'ells, un a cada àrea. Els sistemes seran: en primer lloc un heliòstat amb un seguidor solar de dos eixos, en segon lloc l'aprofitament de les claraboies del passadís per crear un dispositiu tubular amb una plataforma reflectora per tal de conduir la llum al primer pis i en tercer lloc, un dispositiu tubular d'il·luminació natural, més comunament anomenat tub solar.

A més, totes les àrees comptaran amb la instal·lació d'un sistema d'automatització de la llum, mitjançant l'ús de sensors de llum i/o de presència.

4.2.1.1 Estança 1: Lavabo

4.2.1.1.1 Definició solució heliòstat amb seguidor solar

Per l'optimització de la llum del lavabo, una de les millores escollides ha sigut la instal·lació d'un heliòstat de forma parabòlica, al mur que rodeja l'escola, com es pot veure a la dreta de la II·lustració 27. Aquest anirà encarat cap a la finestra del lavabo per tal de poder concentrar al màxim la radiació solar en aquesta direcció.



II·lustració 27. Posició heliòstat
Font: elaboració pròpia

L'heliòstat estarà format per un sistema de dos eixos amb un seguidor solar. Per assegurar que sempre està tota la finestra coberta per il·luminació solar es faran servir sensors fotoelèctrics per tal de fer que l'heliòstat es mogui en cada moviment del Sol i que cap sensor estigui sense rebre senyal. En aquest mateix apartat s'explicarà la utilitat i el funcionament que tindran aquests sensors.



Diagrama 5. Heliòstat, disc parabòlic
Font: heliotrack.com

Per entendre millor el funcionament de l'heliòstat, cal fer una explicació de com funciona un seguidor solar.

Un seguidor solar és un mecanisme format per dos fotoreceptors en cada eix de moviment. Aquests receptors el que fan és captar la radiació solar, de manera que si hi ha una diferència entre ells dos sobre una línia recta, que es pot veure perquè hi ha ombra, el que està passant és que el Sol no està ubicat de forma perpendicular. Aquesta diferència entre els sensors ve donada pel fet d'estar separats per un separador opac com es pot veure al *Diagrama 6*.^[6]

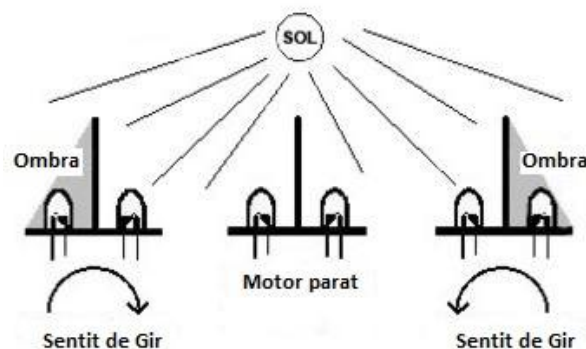


Diagrama 6. Exemplificació de la intensitat de radiació solar
Font: stsolar.eu

Quan la intensitat de la radiació solar captada pels sensors és pràcticament igual, és quan els motors dels eixos es paren i el seguidor solar quedarà posicionat de manera que el Sol incideixi perpendicularment sobre ells.

També és important explicar els diferents angles que intervenen per tal d'aconseguir la millor posició de l'heliòstat respecte el Sol.

Angles de la posició del Sol

-Angle azimutal solar o azimuth (Θ_H): és l'angle de gir del Sol mesurat sobre el pla horitzontal mitjançant la projecció del raig sobre la superfície terrestre i tenint com referència la direcció nord-sud.

-Angle d'alçada solar (Θ_V): és l'angle que formen els rajos solars amb la superfície horitzontal.

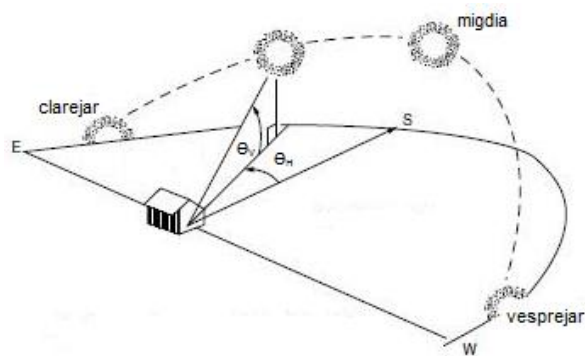


Diagrama 7. Angles de posició del Sol
 Font: jmirez.wordpress.com

Angles de la posició de l'heliòstat

- Angle azimutal de l'heliòstat (Θ): és l'angle format per la projecció sobre la superfície terrestre de la normal de la superfície de l'heliòstat i la direcció nord-sud.

-Angle d'inclinació de l'heliòstat (i): és l'angle compromès entre el pla de l'heliòstat i el pla horitzontal.

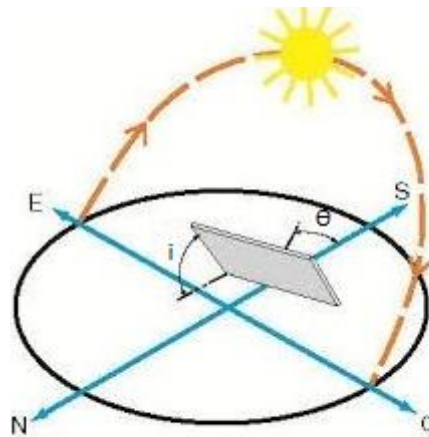


Diagrama 8. Angles de posició de l'heliòstat

Font: wordpress.com

Com s'ha comentat al principi d'aquest apartat, l'heliòstat estarà compost per un sistema de dos eixos, un d'ells en direcció est-oest i l'altre perpendicular al primer. El de direcció est-oest, si l'heliòstat està situat a l'hemisferi nord com és el cas en què es troba, l'angle β tindrà valor mínim en el solstici d'hivern (21 de Desembre) i valor màxim en el solstici d'estiu (21 de Juny). En el cas d'estar a l'hemisferi sud, hauria de ser tot el contrari.

L'eix perpendicular al primer, farà que l'heliòstat giri d'est a oest seguint la trajectòria del Sol.

Un cop explicats els components que formaran l'heliòstat és necessari fer una petita explicació de la relació d'angles que hi haurà entre el Sol i heliòstat. La explicació extensa i amb la demostració de la formula es pot veure a l'*Annex 2 (demostració angles heliòstat)*.

Per tal d'obtenir una reflexió de la llum perfecta sense cap pèrdua dels rajos del Sol, l'angle d'inclinació de l'heliòstat ha de ser el mateix respecte el Sol i respecte la finestra.

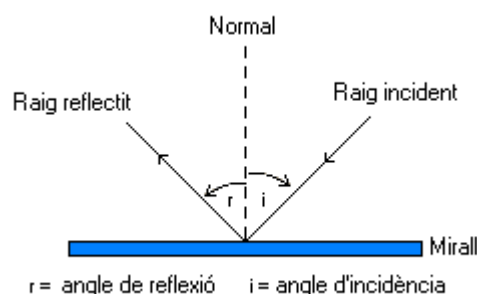


Diagrama 9. Explicació gràfica reflexió de la llum

Font: definicion.de/reflexion-de-la-luz/

L'angle d'inclinació de l'heliòstat ha de ser $i=90-\theta_v$, sent θ_v l'angle l'alçada del Sol, com es pot veure en el *Diagrama 10*.

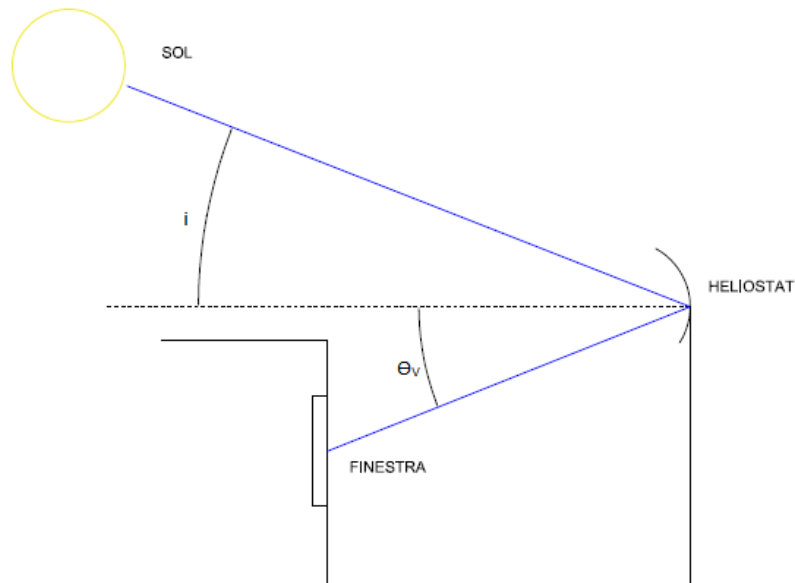


Diagrama 10. Croquis per l'obtenció d'angles
 Font: elaboració pròpia

Per tal d'aconseguir fer arribar el màxim de radiació solar, s'ha estudiat que l'heliòstat ha d'estar situat a una alçada per sobre de l'edifici ja que quan surt el Sol per l'Est aquest ha d'estar més alt per impedir que l'edifici faci d'obstacle i puguin arribar els rajos solars.

L'angle de gir òptim de l'heliòstat^[7], r , per qualsevol moment del dia és:

$$r = \arctan \left(\frac{S_y}{S_x \cdot \sin(i) - S_z \cdot \cos(i)} \right)$$

Es pot veure que l'angle de gir depèn de la inclinació de l'heliòstat i de la direcció dels rajos del Sol (*demostració a l'Annex 2*), de manera que anirà movent-se a mesura que canvi la posició del Sol. Tota aquesta demostració estarà introduïda al programa que porta el seguidor solar i que enviarà ordres als motors dels eixos.

Per tal de saber en tot moment la posició del Sol també és necessària l'ajuda dels sensors fotoreceptors que estan incorporats en l'heliòstat i els sensors fotoelèctrics que estan instal·lats a la finestra que s'explicarà a continuació.

El sistema escollit per fer el seguiment solar i aconseguir que l'heliòstat giri en funció de la posició del Sol per obtenir un aprofitament màxim de la llum solar, és un sistema basat en la utilització de sensors fotoelèctrics situats a la finestra a fi de confirmar la il·luminació d'aquesta en tot moment. El funcionament d'aquest conjunt serà el següent:

Es col·locaran quatre sensors, cadascun al mig dels quatre laterals de la finestra tal i com es veu al *Diagrama 11*, de manera que quan un dels sensors no detecti radiació comunicui a l'heliòstat que ha de fer girar el motor cap a la direcció d'aquest fins arribar al punt en el qual tots els sensors tornen a detectar radiació solar.

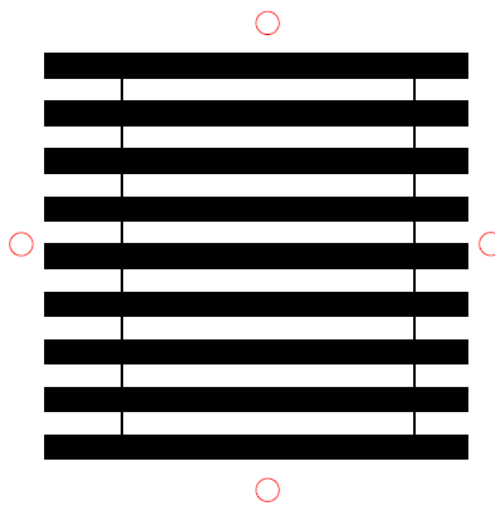


Diagrama 11. Croquis col·locació dels sensors a la finestra
 Font: elaboració pròpia

Amb la finalitat d'entendre el funcionament de tot el mecanisme junt, s'ha elaborat un diagrama de flux.

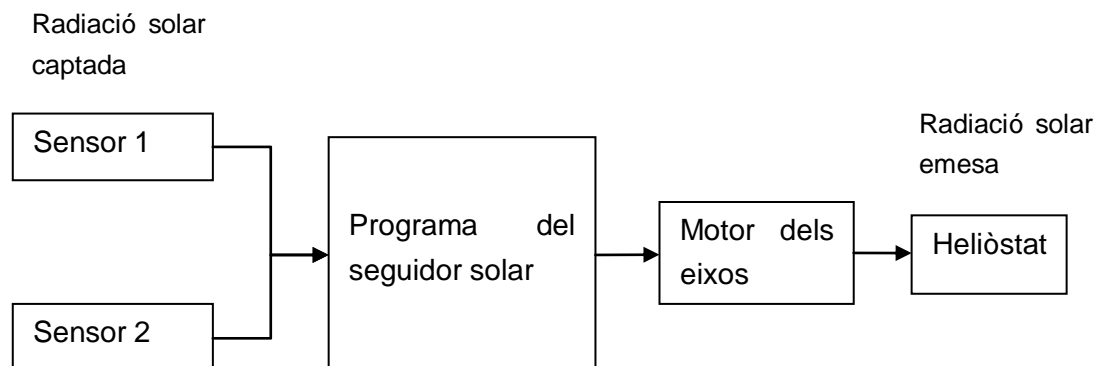


Diagrama 12. Diagrama de flux del funcionament del seguidor solar
 Font: elaboració pròpia

4.2.1.1.1 Definició dimensions heliòstat

Un cop definit el sistema que es farà servir pel funcionament de l'heliòstat, s'han d'establir quines són les característiques que ha de complir aquest per tal d'aconseguir l'aportació de llum que es necessita.

Taula 9. Característiques heliòstat
Font: elaboració pròpia

CARACTERÍSTIQUES HELIÒSTAT PARABÒL·LIC	
Diàmetre extern heliòstat	2 m
Àrea a l'il·luminar	4,79 m ²
Distància focal	13,32 m

Cal aclarir que és la distància focal; és la distància que hi ha entre els vidres de l'heliòstat i el focus que es vol il·luminar, en aquest cas la finestra.

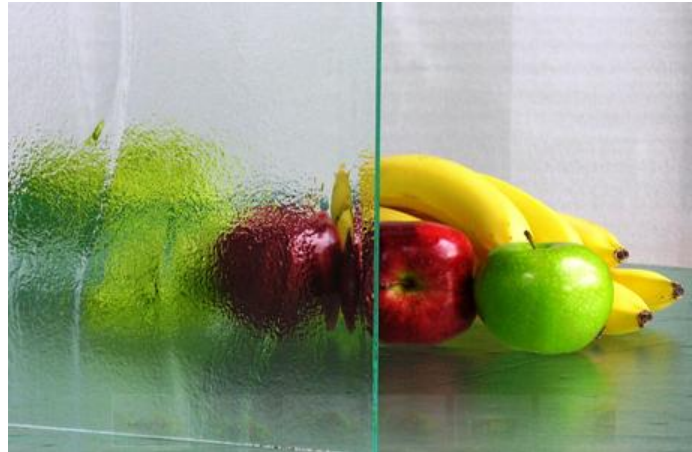
El diàmetre extern de l'heliòstat ha de ser de 2 m i el radi de concavitat de 0,7 m per tal de poder garantir de cobreixi el radi de curvatura que hi ha, que són 13,32 m. La raó d'agafar aquest diàmetre és perquè com s'ha pogut observar durant la recerca d'informació, per una àrea de 4,79 m², amb un heliòstat d'aquestes dimensions ja es cobreix la superfície esmentada. Recolza aquesta decisió el fet que aquestes dimensions siguin estàndards, de manera que no és complicat trobar-ho al mercat.

4.2.1.1.2 Definició canvi parets compartiments

Una altra de les millores que s'ha escollit, ha estat el canvi de les parets que separen els lavabos a fi de poder portar la llum solar a tots els lavabos sense la necessitat d'haver de fer servir la llum artificial. A més d'aquesta millora, s'ha pensat instal·lar llums individuals a cada lavabo amb sensors de presència i d'intensitat lumínica, ja que s'ha pogut veure mitjançant el programa DialuxEvo, que hi havia alguna zona on pràcticament no hi arribava llum.

El tipus de material que s'ha pensat instaurar a les parets és un material translúcid. Avui dia al mercat hi ha moltes opcions però sabent que s'ha d'instal·lar en una escola, per temes de seguretat, es creu que són millors els panells de resina translúcids ja que són 20 vegades més resistents que no pas els de vidre.

A la *Il·lustració 28* es pot veure de quin tipus de material serien les parets. Cal afegir que per tal de complir amb el factor de privacitat, aquestes no serien de totes senceres amb aquest vidre, ja que tot i no veure's la imatge clarament es poden veure els moviments i es considera que no és correcte, tractant-se d'una estança com és el lavabo.



Il·lustració 28. Efecte panell translúcid
Font: is-arquitectura.es/

4.2.1.1.3 Automatització i control

L'última millora del lavabo és la col·locació de sensors de presència i d'intensitat de llum que es col·locaran juntament amb les bombetes LED que s'implementaran a cadascun dels compartiments. Per tal d'obtenir un bon funcionament del conjunt amb els sensors, caldria revisar si els LEDS que estan instal·lats són regulables.

Els sensors de llum s'utilitzen per detectar el nivell de llum i produir una senyal de sortida representativa respecte a la quantitat de llum detectada. Hi ha molts tipus de sensors de llum que tenen diverses utilitats, però el que es necessita al lavabo és l'anomenat interruptor crepuscular^[8]. El funcionament d'aquest detector és encendre la bombeta quan la llum ambiental és inferior a un valor determinat. El que fan es actuar davant de qualsevol font de llum visible, ja sigui artificial com natural.

L'interruptor crepuscular fa servir una fotoresistència que normalment se'n diu LDR, *Light Dependant Resistor*, essent aquesta la que varia el seu valor en funció de la llum rebuda de l'exterior. A continuació s'explicarà el funcionament d'un interruptor crepuscular.

El circuit consisteix en una resistència LDR muntada formant un divisor de tensió amb R1 i P1, que en funció del nivell de llum que incideix sobre ella i de l'ajust de P1 farà que el transistor T1 condueixi o no, activant o desactivant el relé que actua com a interruptor obert o tancat. És a dir, quan hi ha llum sobre la fotoresistència del sensor, la resistència es fa mínima, de manera que el relé del circuit no funciona. En canvi, quan no hi ha llum, la bobina del relé s'excita i tanca els contactes fent que el led de la bombeta s'encengui. Normalment hi ha un potenciòmetre en sèrie amb la fotoresistència que serveix per ajustar la quantitat de llum que ha d'emetre la bombeta i per tant com ha d'estar posicionat el relé.

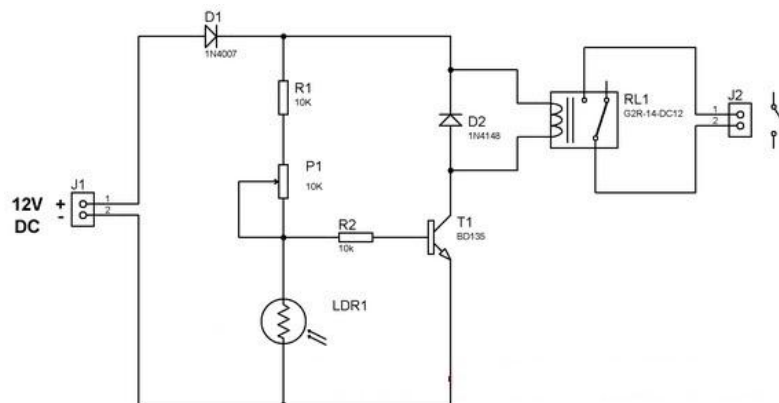


Diagrama 13. Circuit interruptor crepuscular
 Font: bricotronika.blogspot.com.es

A continuació es mostra un diagrama de blocs d'un sistema de control de llum tancat que és el que es farà servir pels sensors de llum. En aquest tipus de sistemes de control, la presa de decisions no depèn només de l'entrada sinó també de la sortida.

En primer lloc, es té una entrada de referència que és la senyal externa, en aquest cas la intensitat de llum que arriba de l'exterior. En segon lloc, hi ha un controlador que és la resistència LDR, que depenent de la quantitat de llum que li arriba, es fa mínima o màxima i això incideix sobre el relé, sent el responsable de que la bombeta s'encengui. La font lumínica fa el paper del que se'n diu element final de control, que és qui realitza l'acció directa sobre el procés.

Els sensors prenen el paper d'elements de realimentació, ja que són els que permeten que hi hagi el control automàtic del sistema i són els que fan que sigui un sistema de control de llum tancat.

Després de tot el procés, s'obté una sortida que en aquest cas es tracta de la sortida de llum depenent de la intensitat lumínica.

En tot sistema de control de llaç tancat, hi ha un error (P), que és el que marca la diferència entre l'estat desitjat i l'estat real. Aquest procés no finalitza fins que l'error no és zero, és a dir, fins que tots dos estats no prenen el mateix valor.

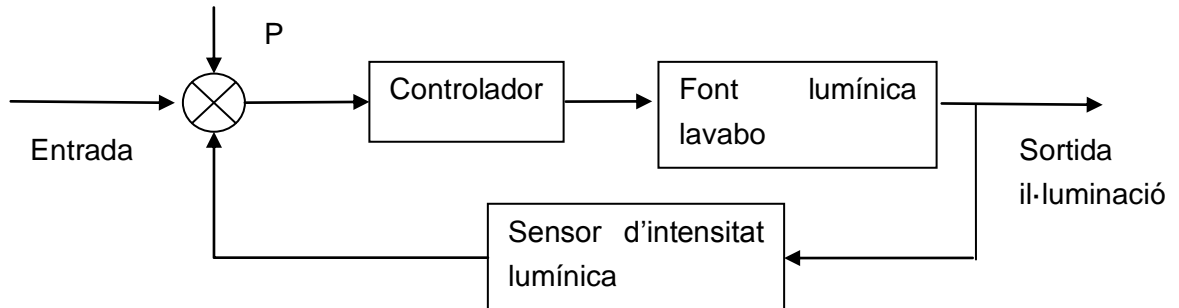


Diagrama 14. Diagrama de blocs dels sensors de llum
 Font: elaboració pròpia

Els sensors de presència són uns dispositius elèctrics que emeten una senyal en aquest cas a la bombeta LED per emetre llum. Hi ha diversos tipus de sensors de presència però per l'aplicació que es vol donar, generalment es fan servir d'infrarojos. Aquest tipus es basa en un sistema que detecta les variacions de temperatura d'un cos o un objecte. La llum s'encén automàticament quan el sensor detecta la radiació tèrmica o energia que emet un cos. Per tal de que aquests sensors detectin les persones, és necessari ajustar la sensibilitat del sensor a fi de que percebi la temperatura del cos.

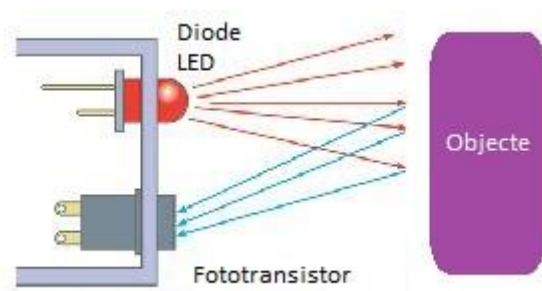


Diagrama 15. Esquema representatiu funcionament sensor de presència
 Font: recursostic.educacion.es

Com en el cas anterior, es mostra un diagrama de blocs d'un sistema de control de llaç tancat que és el que es farà servir pels sensors de presència. Es tornaran a tenir els mateixos elements, ja que és un sistema de control de llaç tancat, però seran els necessaris per aquest cas.

Per començar, es té una entrada de referència que és la senyal externa, que és la temperatura d'un cos. A continuació, hi ha un controlador que és el fototransistor, que és qui rep la variació de la temperatura fent que s'encengui la bombeta LED. Aquesta és la que s'anomena element final de control, sent la que realitza l'acció directe sobre el procés.

També hi ha els sensors, que són els elements de realimentació. Els sensors són els que permeten que hi hagi el control automàtic del sistema i fan que sigui que aquest sigui un sistema de control de llaç tancat.

Després de tot el procés, s'obté una sortida que en aquí és tracta de la sortida de llum provocada per una variació en la temperatura rebuda pel fototransistor.

Com s'ha comentat abans, en un sistema de control de llaç tancat, hi ha un error (P), que és el que marca la diferència entre l'estat desitjat i l'estat real. El procés no finalitza fins que l'error no és zero, és a dir, fins que tots dos estats no prenen el mateix valor.

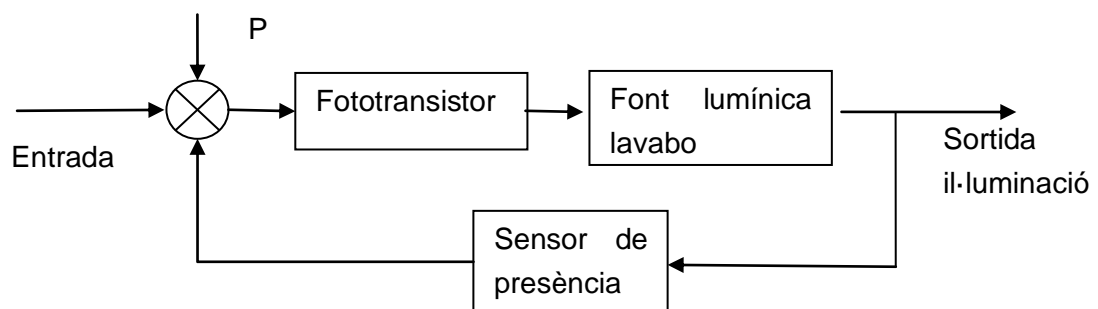


Diagrama 16. Diagrama de blocs dels sensors de presència
 Font: elaboració pròpia

Els dos sensors explicats anteriorment aniran tots dos incorporats a cada bombeta de cada compartiment per tal de tenir una millor utilització de la llum artificial sense malgastar aquesta. A més, cadascuna d'elles anirà connectada en paral·lel per tal de que no hi hagi influències quan una s'encén i les altres no ho han de fer.

També s'incorporaran aquests sensors a la resta de llums existents al lavabo, ja que no hi haurà cap modificació en quant a aquestes, però sí que es milloraran proporcionant els sensors.

4.2.1.2 Estança 2: Passadissos

4.2.1.2.1 Definició canvi claraboies per tubs solars

A fi de millorar la il·luminació dels passadissos, per una banda, s'ha decidit modificar les claraboies existents a l'edifici i convertir-les en un tub solar. Per altra banda, les plataformes quadrades que donen al primer pis tindran una altra modificació, que consisteix en la instauració d'una plataforma de miralls reflectants per tal de distribuir la llum que ve reflectida del tub solar del segon pis. A continuació es farà una explicació d'aquesta nova configuració.

Com ja s'ha comentat a l'*apartat 3 (Estat de l'art)*, les claraboies tenen com objectiu deixar passar la llum del Sol d'un mode uniforme. Tot i això, com al primer pis hi ha un vidre translúcid que deixa passar la llum però no proporciona tota la il·luminació desitjada, s'ha decidit instaurar un mecanisme per poder transportar més llum al pis de baix. Per fer això el que es realitzarà és una modificació a la claraboia.

Per tal d'entendre el perquè de l'elecció d'aquest tipus de cúpula s'exposaran unes reproduccions de les radiacions solars sobre la cúpula.

A les cúpules convencionals, els rajos de Sol de baixa inclinació han de fer moltes reflexions a l'interior del tub, impedit el seu rendiment.



Diagrama 17. Claraboia tradicional

Font: espaciosolar.com

En canvi, a les cúpules dels tubs solars són d'una gelosia que desvia els rajos cap a l'interior minimitzant el nombre de reflexions a l'interior del tub, aconseguint fins al doble de llum que a les altres cúpules.



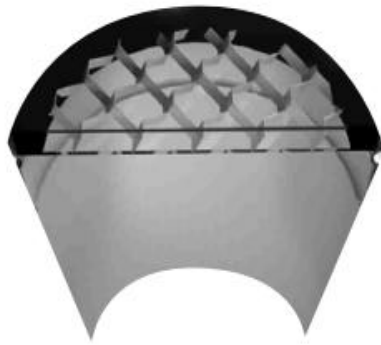
Diagrama 18. Cúpula tub solar
Font: espaciosolar.com

La idea és fer una recreació dels conductes solars que hi ha al mercat. De manera que s'adaptaran els conductes solars a la claraboia de l'edifici.

Els conductes solars estan formats per tres parts, una part superior que se'n diu cúpula, un conducte reflectant i uns difusors.^[10]

A la part superior hi ha una cúpula de vidre, que està fabricada amb triple laminat de vidre amb una càmera d'aire anticondensació. El vidre està fabricat en forma de gelosia reflectant DEPLOYCELL, que és un sistema que capta la llum solar i la reflecteix cap a l'interior del conducte. Aquesta gelosia està fabricada amb alumini plata plus 98% amb un tractament de plata molt reflectant del 98% segons la norma DIN5030.

Amb aquest acabat metàl·lic dona una major estabilitat enfront als rajos UV en comparació als laminats de plàstic. En el moment de la instal·lació, la gelosia es munta orientada cap al sud per tal d'aconseguir la màxima efectivitat a l'hora de captar la radiació solar durant tot el dia.



II-lustració 29. Recreació cúpula de vidre
Font: espaciosolar.com



II-lustració 30. Cúpula de vidre
Font: espaciosolar.com

A la part del conducte, les parets del conducte aniran recobertes per un material d'alumini amb un tractament superficial de plata Silver-Plus, amb un factor molt reflectant del 98% segons la norma DIN5036.

Finalment, a la part inferior es col·loca un difusor que distribueix la llum de forma homogènia. El difusor està fabricat d'un material que aporta protecció selectiva dels rajos UV, de manera que també protegeix de la degradació dels materials interiors i del enlluernament.

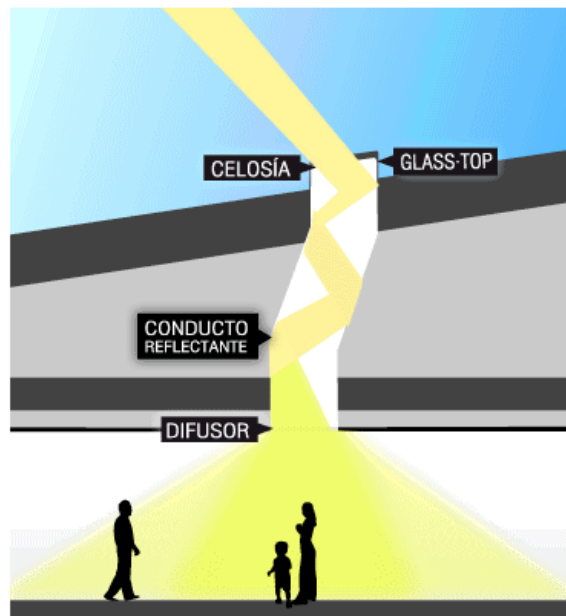


Diagrama 19. Representació gràfica de la composició del tub solar
Font: espaciosolar.com

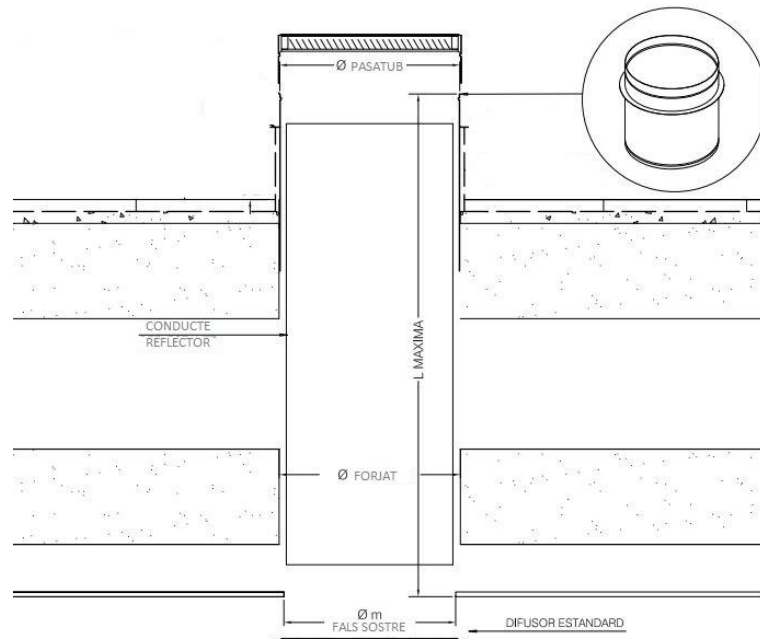


Diagrama 20. Representació tub solar amb els diàmetres

Font: espaciosolar.com

En el cas de les claraboies de l'edifici, el que es necessita és un tub solar que faci 80 cm de diàmetre a la part superior, fent referència al ØForjat, 1 m a la part inferior, és a dir, al buit interior amb fals sostre i per últim 80 cm de longitud del conducte.

A continuació, es passarà a explicar un concepte que és important per entendre com funcionen els conductes solars i de quina manera es transmet la llum a través d'aquests, que és el factor de distribució.

La llum que surt del conducte a través del difusor es distribueix obtenint la màxima il·luminació directament sota el difusor i la menor a mesura que t'allunyes del conductor, com es pot apreciar a la gràfica següent.

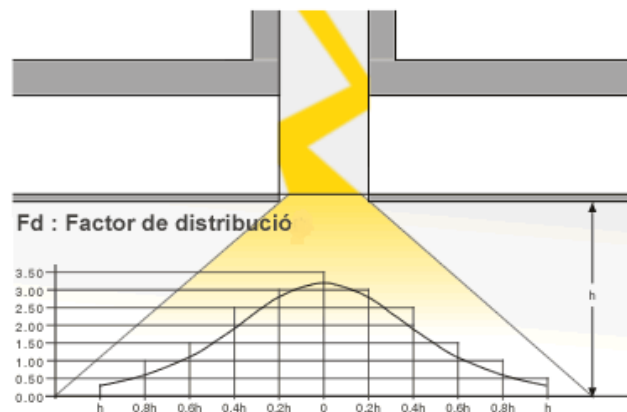


Diagrama 21. Gràfica de factor de distribució

Font: espaciosolar.com

El nivell d'il·luminació que s'obté sota el conducte solar es pot estimar aplicant la fórmula següent:

$$E = \frac{\phi \cdot Fd}{h^2} \cdot (0,4)$$

E: luminància (nivell d'il·luminació lux sobre una superfície horitzontal), ϕ : flux lluminós emès pel conducte, Fd: factor de distribució en un punt i h: distància des del difusor al pla de medició.

S'utilitza Fd=1, per quan es vol obtenir el valor mig del nivell d'il·luminació. La resta del valors de Fd, per obtenir estimacions en els diferents punts de la superfície il·luminada.

Un cop explicada la gràfica i d'on s'obté, es pot veure que la màxima il·luminació es troba directament sota el difusor. Per aprofitar el màxim d'aquesta, s'ha decidit canviar el vidre translúcid que hi ha a la plataforma quadrada que comunica la segona planta amb la primera per un vidre transparent (Il·lustració 31).

El problema és que no es compleix amb el factor de privacitat, ja que des de sota s'observaria la segona planta i per aquesta raó s'ha hagut de buscar un sistema que deixés passar la radiació solar però també tingués en compte aquest factor de privacitat.



Il·lustració 31. Plataforma quadrada que comunica els dos pisos
 Font: elaboració pròpia

4.2.1.2.2 Definició sistema de reflexió a la primera planta

Per tal de complir amb el factor de privacitat, s'ha pensat en dos possibles sistemes que són una plataforma reflectant i un conjunt de lames. A continuació es realitzarà una explicació sobre els dos sistemes.

4.2.1.2.2.1 *Plataforma reflectant*

El primer sistema per distribuir la il·luminació a la primera planta que s'ha pensat en instal·lar és una plataforma reflectant. La forma d'aquesta hauria de ser com una piràmide però amb alguna variació, ja que si és una de perfecte hi ha la opció de poder tenir problemes d'enlluernament en el primer pis.

Aquesta plataforma estaria construïda per miralls reflectants d'alumini altament reflectant i un nucli de resines plàstiques. Per tal de que reflecteixi més, es col·locarien uns altres miralls reflectants al sostre per redreçar els rajos. La decisió de fer servir aquest tipus de material, és perquè són els que s'utilitzen en tots els mecanismes que van enfocats a la reflexió de la radiació solar, com per exemple en els heliòstats.

Per poder penjar aquesta plataforma del sostre, es farà mitjançant uns cables metàl·lics que anirà soldats a una platina on es trobaran els cargols per poder agafar-ho al sostre. Tal com s'ha comentat, en el passadís hi ha un fals sostre, pel que s'hauran de fer passar els cables a través d'un forat circular del mateix diàmetre per poder subjectar-ho al sostre real.

Per tal de complir amb el factor de privacitat, després de mirar els diferents angles des d'on es podria veure la segona planta, s'ha decidit col·locar un vidre translúcid en les àrees on fos possible la visibilitat.

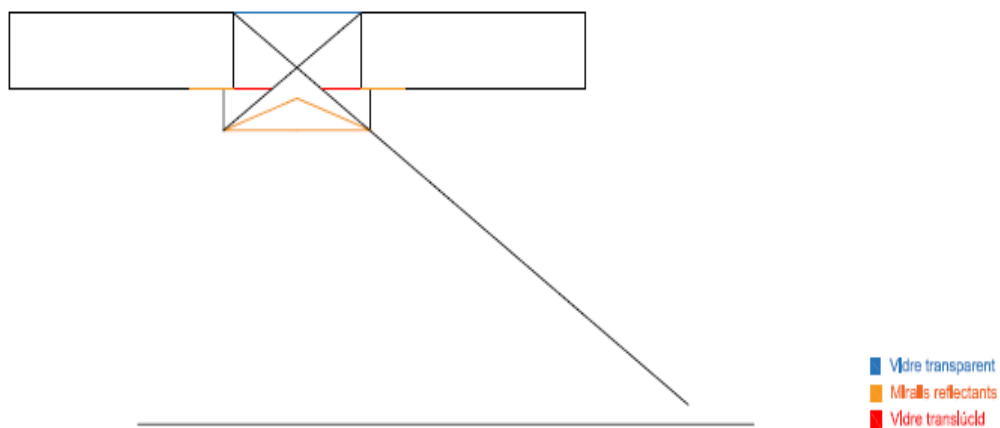


Diagrama 22. Representació de la plataforma i els materials a utilitzar
 Font: elaboració pròpia (Autocad)

4.2.1.2.2 Conjunt de lames

El segon sistema per distribuir la il·luminació a la primera planta, és instal·lar un conjunt de lames. Aquest aniria col·locat a nivell de sostre, variant les longituds i separacions entre elles, aconseguint així un sistema en el qual s'hi deixa passar la radiació solar i també es cobreix el factor de privacitat.

Les lames serien de vidre pel costat on arriba la radiació solar i de color blanc brillant al costat encarregat de reflectir la radiació.

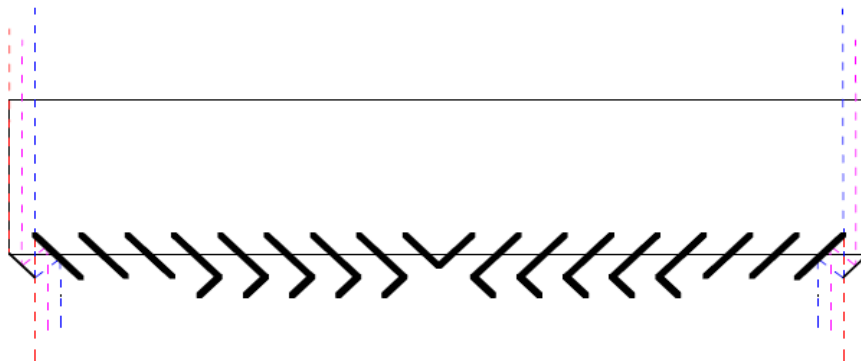


Diagrama 23. Representació del sistema de conjunt de lames

Font: elaboració pròpia (Autocad)

A la imatge anterior (*Diagrama 23*), es pot veure en que consistiria el conjunt de lames i també està representada la radiació per tal de comprovar que hi hauria reflexió.

4.2.1.2.3 Elecció de sistema

Per tal de decidir quin dels dos sistemes és el més adient a instal·lar, s'ha realitzat el mètode qualitatiu per punts (VTP), en el qual s'han tingut en compte una sèrie de factors que es consideren els més importants que són; l'estètica, la dificultat a l'hora d'instal·lar-los, procurant que no hi hagi una gran modificació de l'estructura i per últim el preu.

El criteri per donar la puntuació és el següent; per l'estètica es donarà major puntuació al que menys espai ocupi i variï el que hi ha actualment. Per la dificultat d'instal·lació, tindrà major puntuació el que més canvis suposi en quant a l'estructura i per últim, major puntuació, el que sigui més econòmic.

Taula 10. VTP per escollir el sistema de reflexió

Font: elaboració pròpia

Factors	Pes	Plataforma reflectant		Conjunt de lames d'alumini	
		Puntuació	Valor ponderat	Puntuació	Valor ponderat
Estètica	0,5	8	4	5	2,5
Dificultat d'instal·lació	0,3	7	2,1	4	1,2
Preu	0,2	8	1,6	6	1,2
Valor final		7,7		4,9	

4.2.1.2.3 Automatització i control

Per tal de treure un millor profit de la llum natural i procurar reduir al mínim la llum artificial, al passadís també s'ha decidit incorporar els sensor de llum.

Com en el cas del lavabo, per d'obtenir un bon funcionament dels llums amb els sensors, caldria revisar si els LEDS que estan instal·lats són regulables.

Com ja s'ha explicat al *subapartat 4.2.1.1.3 (Automatització i control)* del lavabo, els sensors de llum s'utilitzen per detectar el nivell de llum i produir una senyal de sortida representativa respecte a la quantitat de llum detectada. Com en el cas anterior, es farà servir l'interruptor crepuscular^[8], ja que actuen davant de qualsevol font de llum visible, ja sigui artificial com natural, regulant la intensitat dels LEDS.

A continuació, es mostra el diagrama de blocs d'un sistema de control de llac tancat que és el que es farà servir pels sensors de llum. En aquest tipus de sistemes de control, la presa de decisions no depèn només de l'entrada sinó també de la sortida.

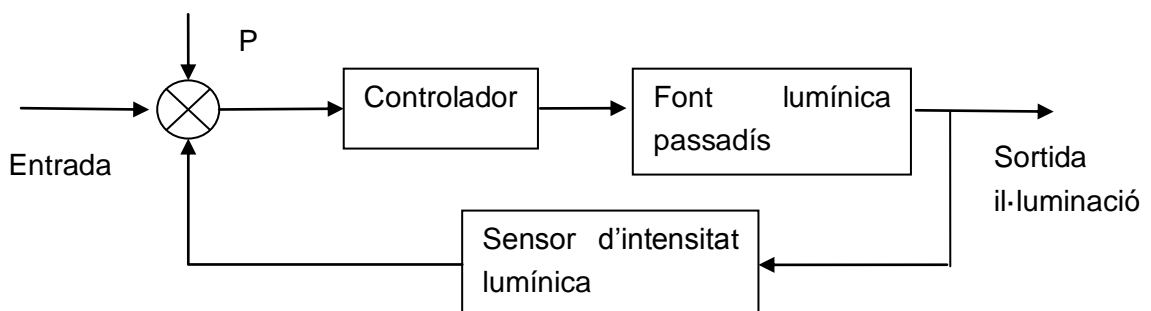


Diagrama 24. Diagrama de blocs dels sensors de llum

Font: elaboració pròpia

En primer lloc, es té una entrada de referència que és la senyal externa, en aquest cas la intensitat de llum que arriba de l'exterior. En segon lloc, hi ha un controlador que és la resistència LDR, que depenent de la quantitat de llum que li arriba, es fa mínima o màxima i això incideix sobre el relé, sent el responsable de que la bombeta s'encengui. La font lumínica fa el paper del que se'n diu element final de control, que és qui realitza l'acció directe sobre el procés.

Els sensors prenen el paper d'elements de realimentació, ja que són els que permeten que hi hagi el control automàtic del sistema i són els que fan que sigui un sistema de control de llaç tancat.

Després de tot el procés, s'obté una sortida que en aquest cas es tracta de la sortida de llum depenent de la intensitat lumínica.

En tot sistema de control de llaç tancat, hi ha un error (P), que és el que marca la diferència entre l'estat desitjat i l'estat real. Aquest procés no finalitza fins que l'error no és zero, és a dir, fins que tots dos estats no prenen el mateix valor.

4.2.1.3 Estança 3: Aula

4.2.1.3.1 Descripció instal·lació tubs solars

Amb la finalitat de millorar la il·luminació de l'aula, s'ha decidit instal·lar tubs solars per poder proporcionar una major quantitat de llum natural a la sala. Amb la instal·lació d'aquest tipus de dispositiu, el que es busca és proporcionar moltes més hores de llum natural.

Al mercat hi ha moltes empreses que es dediquen a la fabricació d'aquest tipus d'il·luminador de llum natural. S'ha pogut comprovar, que en general totes tenen més o menys les mateixes mides i àrees d'il·luminació proporcionades pels conductes.

Les mides per una àrea de les característiques de l'aula són les següents:

Taula 11. Models de tubs solars^[1]
Font: teclusol.com

Model	Diàmetre tub	Àrea il·luminada	Potencial longitud tub
Solatube 160 DS	25 cm	14-19 m ²	6 m
Solatube 290 DS	35 cm	23-28 m ²	9 m

Analitzant quina de les dues mides és la més adient per l'aula, primer de tot s'ha hagut de tenir en compte els metres quadrats que té l'aula.

$$\text{Àrea}_{\text{aula}} = 6,14 \cdot 8,07 \sim 50 \text{m}^2$$

De manera que el primer model queda descartat, ja que per tal de cobrir tota la sala s'haurien d'instal·lar molts tubs solars. El segon model arriba a cobrir fins a 28 m², per la qual cosa, si només es posés un tub solar no cobriria la superfície total de l'aula, per aquesta raó es creu que el més adient és col·locar dos del model Solatube 290 DS, ja que entre els dos es cobririen el 50m².

En segon lloc, s'ha de decidir quina és la millor posició pels tubs solars, pel que s'ha realitzat un mapa de colors falsos amb l'ajuda del programa DialuxEvo.

Aquest mapa es realitza a partir de la pitjor situació obtinguda en els resultats, en funció de la meteorologia i sense tenir en compte els resultats de sense llum diürna, ja que no tindria sentit instal·lar tubs solars si no hi ha llum solar. També es descarta la situació de cel cobert, perquè simula que és quan no hi ha Sol.

La raó d'escollir aquesta situació és per poder proporcionar una millora on els tubs solars tinguin el màxim rendiment i d'aquesta manera es tregui un gran profit de la seva funció. Sabent que les necessitats lumíniques per l'aula són: mínim 300 luxs, mig 675 luxs i màxim 1000 luxs, si s'observa la taula on s'han deixat les situacions que es tindran en compte per tal de realitzar el mapa de colors falsos, es pot veure que la pitjor situació s'obté el 28/01/2016 a les 17:00h. En aquesta situació és quan menys luxs s'obtenen en funció del que està establert com a necessari.

Taula 12. Taula de resultats adaptada
Font: elaboració pròpia

Dia	Hora	Cel mig			Cel sense núvols		
		Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]	Mín. [lux]	Mig [lux]	Màx. [lux]
28/01/2016	9:00h	197	398	850	272	543	903
28/01/2016	12:00h	316	633	1013	346	689	1081
28/01/2016	17:00h	168	335	637	226	446	843
28/01/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-
16/03/2016	9:00h	297	593	982	328	644	1236
16/03/2016	12:00h	352	700	1218	410	817	1378
16/03/2016	17:00h	231	467	1025	240	485	1118
16/03/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-
14/05/2016	9:00h	312	631	1259	317	645	1379
14/05/2016	12:00h	345	680	744	382	759	1512
14/05/2016	17:00h	300	596	1266	324	639	1311
14/05/2016	19:00h	244	489	1349	267	533	1144
16/09/2016	9:00h	337	675	1994	345	690	1052
16/09/2016	12:00h	372	739	1399	361	720	1231
16/09/2016	17:00h	306	610	897	334	665	994
16/09/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-

A continuació es mostra el mapa de colors falsos obtinguts. Es pot veure que hi ha una zona que marca que no té il·luminació, aquesta zona queda fora dels càlculs un cop es realitzen. El perquè d'aquesta elecció és el fet de ser una zona on hi ha un armari.

clase

28/01/2016

DIALux

Terreno 1 / Edificación 1 / Planta (nivel) 1 / Superficie de cálculo 2 / Colores falsos / Intensidad lumínica horizontal

Superficie de cálculo 2

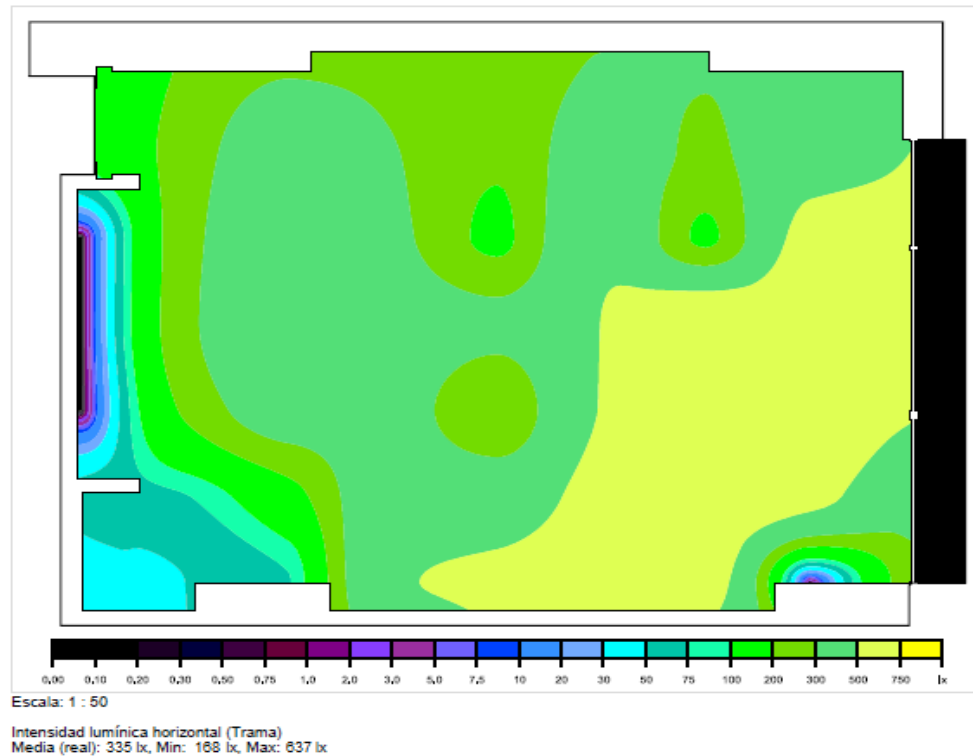


Diagrama 25. Mapa de colors falsos (aula)

Font: DialuxEvo

Una altra de les coses que es pot veure al aquest mapa, és que hi ha una zona de l'aula que és força més fosca que no pas la que està en contacte directe amb la finestra. És a dir, la part interior sembla que no estigui gaire il·luminada però si es mira la escala de colors, es pot veure que el verd que està a aquesta zona marca que hi ha uns 300 lux, de manera que rep la il·luminació dels llums que hi ha a l'aula. La zona de la finestra, és la que fa que hi hagi un màxim de 637 luxs que els rep per la radiació solar exterior.

A continuació es passarà a mostrar diferents opcions de quina podria ser la col·locació dels tubs solars. En primer lloc, una bona manera d'analitzar quina és la millor opció és mitjançant el mapa de colors falsos, ja que aporta molta informació sobre quines són les zones que els manca més la llum.

Primera opció de col·locació:

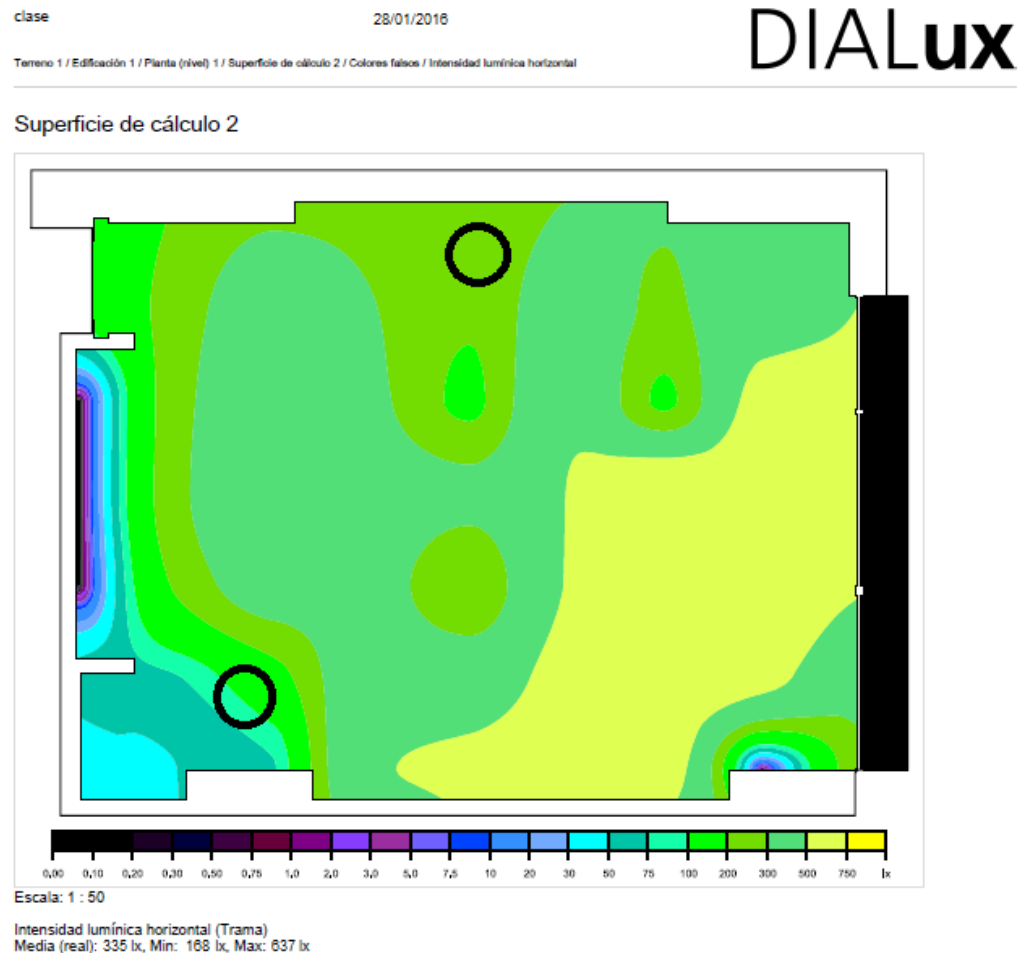


Diagrama 26. Mapa de colors falsos primera opció
Font: DialuxEvo

Si s'observa el mapa de colors falsos (*Diagrama 26*), una bona opció per tal de donar més llum a la zona interior, és posar un dels tubs solars a la zona on hi ha més falta d'il·luminació. El segon tub solar, es podria col·locar a una altra de les zones on sembla que també falta llum.

Segona opció de col·locació:

clase

28/01/2018

DIALux

Terreno 1 / Edificación 1 / Planta (nivel) 1 / Superficie de cálculo 2 / Colores falsos / Intensidad luminica horizontal

Superficie de cálculo 2

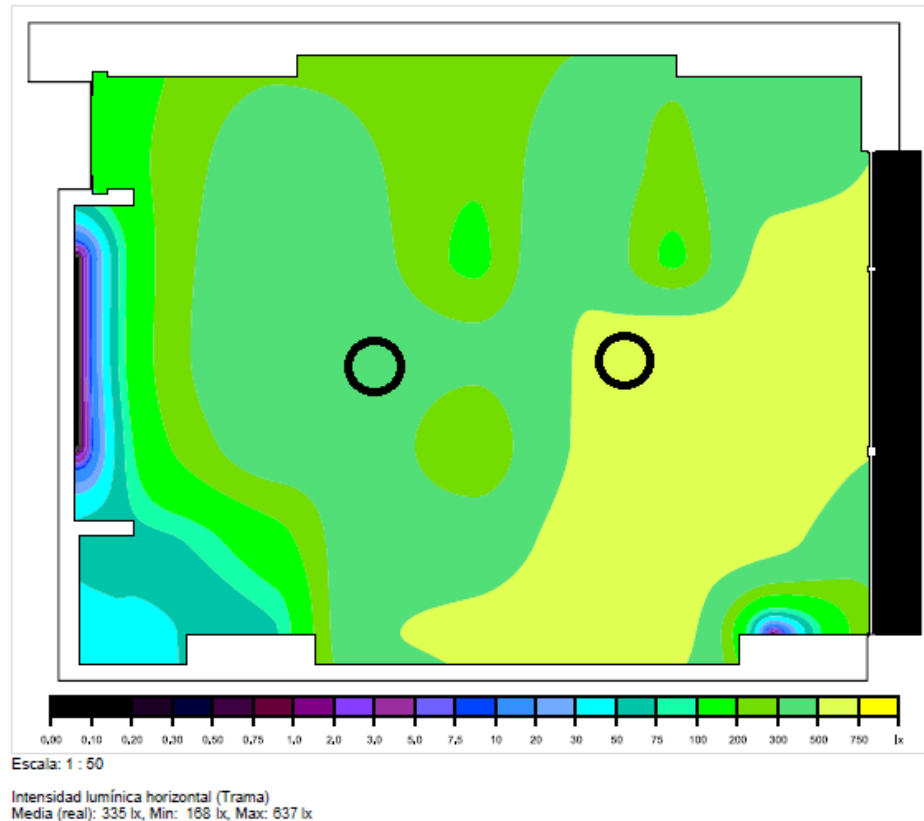


Diagrama 27. Mapa colors falsos segona opció

Font: DialuxEvo

La segona possible opció és la de posar els dos conductes solars alineats al mig de l'aula, a cada cantó de la sala, per tal de procurar distribuir de millor manera la llum solar, sense tenir massa en compte quin són els llocs on falta llum.

La segona manera d'analitzar la possible millor opció, és mirant quina de les dues opcions abasteix més sala i cobreix més superfície mitjançant la il·luminació.

Per tal de fer això, és necessari saber quin és el radi de cobertura que tindrà el tub solar, sabent que el màxim d'àrea que cobreix són 28 m².

$$A = \pi r^2$$

$$28m^2 = \pi r^2 \rightarrow r = 2,98 m$$

Aquesta serà l'àrea que cobrirà el tub solar. De manera que si es mira, amb quina de les dues opcions s'omple més superfície, es podrà decidir quina és la millor opció.

Primera opció de col·locació:

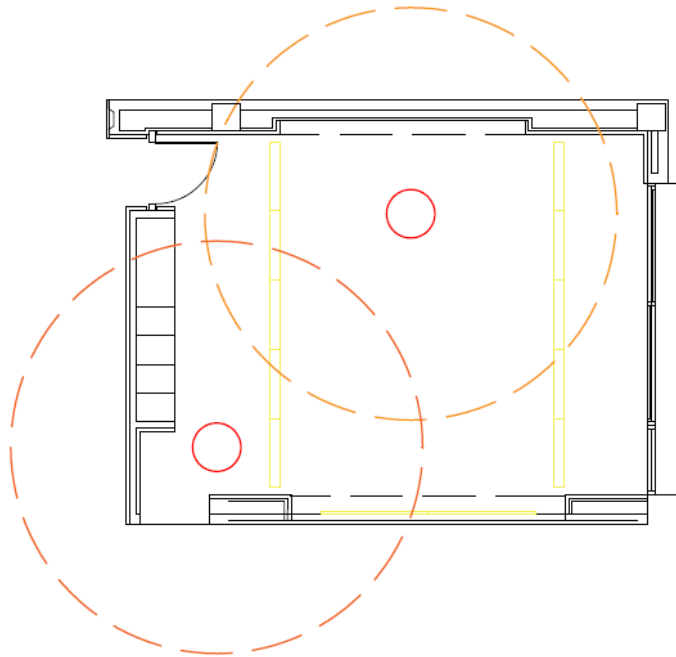


Diagrama 28. Disposició tubs solars (primera opció)
Font: elaboració pròpia (Autocad)

Segona opció de col·locació:

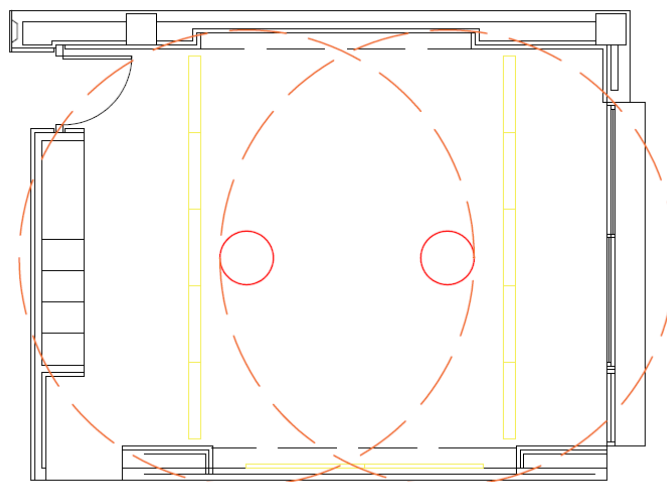


Diagrama 29. Disposició tubs solars (segona opció)
Font: elaboració pròpia (Autocad)

4.2.1.3.2 Automatització i control

Una altra de les millores pensades per l'aula, també s'ha fet servir com a millora al lavabo i és la col·locació de sensors de llum. En aquest cas el que es vol és adaptar la llum a les necessitats d'una classe, de manera que mai hi falti llum, ja que és un fet que pot afectar a la visió dels alumnes. Però com ja s'ha comentat anteriorment, caldria revisar si els LEDS que estan instal·lats són regulables per obtenir un bon funcionament dels llums amb els sensors.

Com ja s'ha comentat al subapartat 4.2.1.1.3 (*Automatització i control*) del lavabo, els sensors de llum s'utilitzen per detectar el nivell de llum i produir una senyal de sortida representativa respecte a la quantitat de llum detectada. Es tornarà a fer servir els sensors de tipus interruptor crepuscular^[8], perquè d'aquesta manera s'encenen i es regula la intensitat de llum artificial en funció de la llum natural que hi entra.

De manera que es torna a tenir un diagrama de blocs d'un sistema de control de llaç tancat com el que s'exposa a continuació:

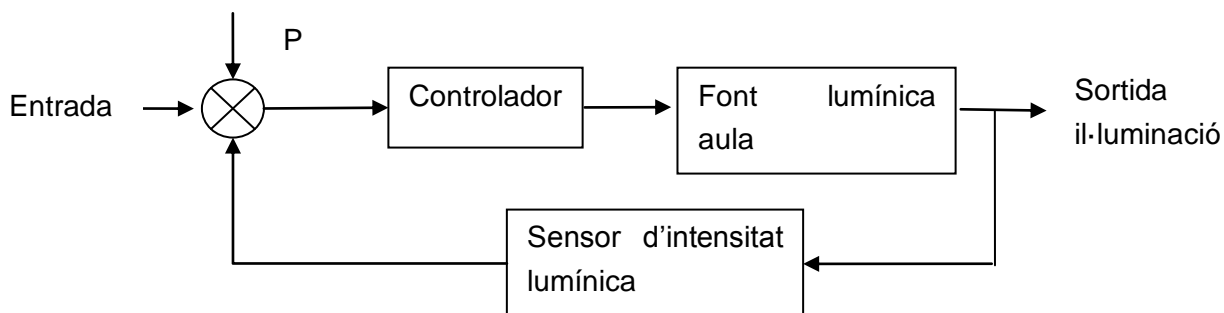


Diagrama 30. Diagrama de blocs dels sensors de llum
 Font: elaboració pròpia

Per tal d'entendre el diagrama de blocs es realitzarà una explicació dels components.

En primer lloc, es té una entrada de referència que és la senyal externa, en aquest cas la intensitat de llum que arriba de l'exterior. En segon lloc, hi ha un controlador que és la resistència LDR, que depenent de la quantitat de llum que li arriba, es fa mínima o màxima i això incideix sobre el relé, sent el responsable de que la bombeta s'encengui. La font lumínica fa el paper del que se'n diu element final de control, que és qui realitza l'acció directe sobre el procés.

Els sensors prenen el paper d'elements de realimentació, ja que són els que permeten que hi hagi el control automàtic del sistema i són els que fan que sigui un sistema de control de llaç tancat.

Després de tot el procés, s'obté una sortida que en aquest cas es tracta de la sortida de llum depenent de la intensitat lumínica.

En tot sistema de control de llaç tancat, hi ha un error (P), que és el que marca la diferència entre l'estat desitjat i l'estat real. Aquest procés no finalitza fins que l'error no és zero, és a dir, fins que tots dos estats no prenen el mateix valor.

4.2.2 Modelització de la nova configuració

En el següent apartat es mostraran les modelitzacions de la nova configuració per cadascuna de les estances. Per tal de poder recrear la nova situació i fer un càlcul aproximat dels resultats, s'han hagut de fer equivalències en cadascuna de les àrees, ja que el programa no permet incorporar alguns dels sistemes que s'ha decidit instal·lar.

A fi de poder fer aquestes equivalències, és necessari saber quina és la radiació solar que entra a cadascuna de les àrees. A part de tenir en compte aquesta radiació, també s'ha de considerar que aquesta radiació canvia en funció de l'estat meteorològic, és a dir, depenent del cel que tenim, si hi ha nuvolositat o no.

En els càlculs de luxes de l'estat inicial s'han tingut en compte diferents estats meteorològics: cel cobert, cel mig i cel sense núvols. Per evitar confusions, cal aclarir la diferència; s'ha de dir que el cel cobert és un cel ennuvolat i el cel mig és un cel amb núvols dispersos.

Com ja s'ha comentat, s'han de tenir en compte aquests estats, perquè amb el cel cobert només hi ha radiació difusa i en canvi amb el cel mig, es considera que arriba tota la radiació solar.

Per tal de saber és la radiació difusa s'ha consultat el Atlas de radiació solar a Catalunya, edició 2000, elaborat per la Generalitat de Catalunya.

Taula 13. Valors mitjans mensuals de la radiació solar difusa diària

Font: icaen.gencat.cat

Radiació solar difusa diària [MJ/m ²]												
Ubicació	Gen.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dec.
Sant Cugat	3,10	4,20	5,70	7,10	8,00	8,40	8,20	7,50	6,40	4,90	3,50	2,80

Taula 14. Valors mitjans mensuals de la radiació solar diària

Font: icaen.gencat.cat

Radiació solar global diària [kWh/m ²]												
Ubicació	Gen.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dec.
Sant Cugat	2,01	2,87	4,07	5,35	6,32	6,72	6,45	5,56	4,32	3,05	2,10	1,83

4.2.2.1 Estança 1: Lavabo

En el cas del lavabo, per tal de recrear el heliòstat, s'ha fet una equivalència entre aquest i diversos focus.

Per tal de poder fer això, és necessari saber quina és la radiació solar que entra al lavabo, però s'ha de tenir en compte que hi ha una petita variació ja que existeixen pèrdues en el trajecte de reflexió. Sabent que hi ha una distància focal, entre la finestra i la posició de l'heliòstat, de 13.32 m, aproximadament es perden 9Wh/m² per metre de separació. De manera que és un 6% de pèrdues entre la radiació solar total que es té a l'heliòstat i la que finalment arriba a la finestra.

A partir de la *Taula 13* i *Taula 14*, es seleccionen els mesos que estan sotmesos a estudi. Un cop es té la radiació solar i l'àrea dels conductes solars, es pot calcular la potència i després es poden trobar els lúmens mitjançant una formula.

$$\phi_{(Lm)} = P_{(W)} \cdot \eta_{(Lm/W)}$$

ϕ : flux lluminós, P: potència i η : vegades l'eficàcia lluminosa, que en una bombeta incandescent és 15lm/W.

El càlcul de la radiació solar es troba a l'Annex 3 (Càlculs de radiació).

Taula 15. Equivalència radiació solar difusa a la finestra amb potència

Font: elaboració pròpia

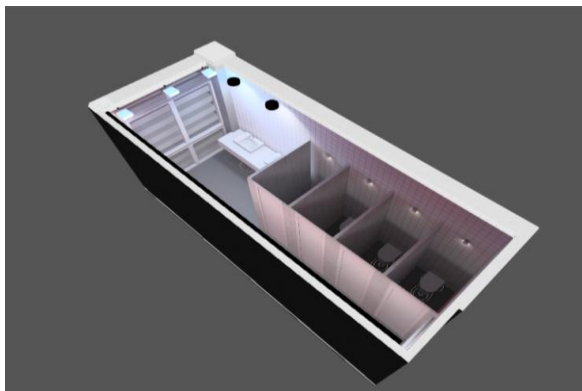
Mes	Radiació solar difusa [kWh/m ²]	Watts [W]	Lúmens [lm]
Gener	0,81	161,46	2421,90
Març	1,49	297,38	4460,70
Maig	2,09	416,93	6253,95
Setembre	1,67	334,10	5011,50

Taula 16. Equivalència de radiació solar a la finestra amb potència

Font: elaboració pròpia

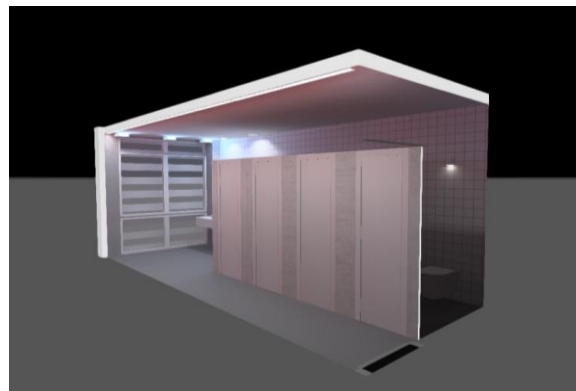
Mes	Radiació solar [kWh/m ²]	Watts [W]	Lúmens [lm]
Gener	1,89	377,21	5658,15
Març	3,95	788,35	11825,25
Maig	6,20	1237,42	18561,30
Setembre	4,20	838,25	12573,75

Mostres de la modelització amb DialuxEvo:



II·l·lustració 32. Perspectiva lavabo

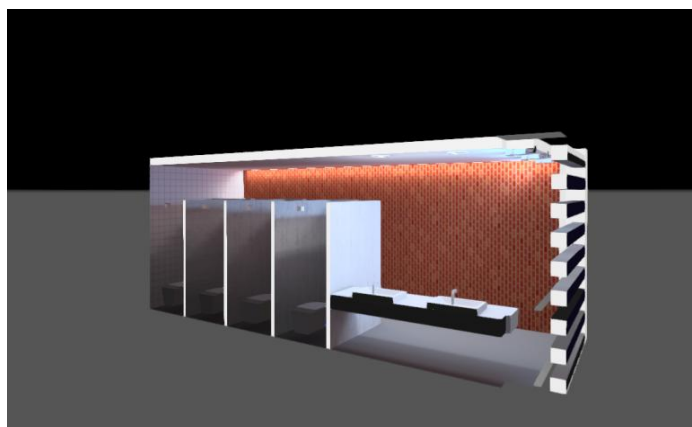
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



II·l·lustració 33. II·luminació lavabo

Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)

A la II·l·lustració 33 es poden veure els focus que simulen ser l'heliòstat i també es poden veure els llums que s'ha incorporat a cadascun dels compartiments per solucionar la foscor.



II·l·lustració 34. II·luminació lavabo

Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)

4.2.2.2 Estança 2: Passadissos

4.2.2.2.1 Passadís segona planta

Per poder recrear la nova situació del passadís de la segona planta, com ja s'ha comentat anteriorment s'ha hagut de fer una equivalència, en aquest cas la recreació de tubs solars s'han convertit en bombetes incandescentes.

Per poder determinar aquesta igualtat, s'han hagut de calcular les radiacions solars que hi ha en cadascun dels estats. A partir de la *Taula 13* i *Taula 14*, es seleccionen els mesos que estan sotmesos a estudi i un cop es té la radiació solar i l'àrea dels conductes solars, es pot calcular la potència i després es poden trobar els lúmens mitjançant una fórmula.

$$\phi_{(Lm)} = P_{(W)} \cdot \eta_{(Lm/W)}$$

ϕ : flux lluminós, P: potència i η : vegades l'eficàcia lluminosa, que en una bombeta incandescent és 15lm/W.

El càlcul de la radiació solar es troba a l'Annex 3 (Càlculs de radiació).

Taula 17. Equivalència radiació solar difusa a la finestra amb potència

Font: elaboració pròpia

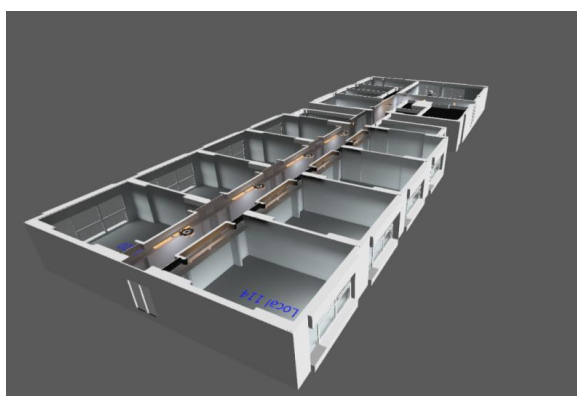
Mes	Radiació solar difusa [MJ/m²]	Radiació solar difusa [kWh/m²]	Watts [W]	Lúmens [lm]
Gener	3,10	0,86	72,11	1081,65
Març	5,70	1,58	132,57	1988,55
Maig	8,00	2,22	186,10	2791,50
Setembre	6,40	1,78	149,08	2236,13

Taula 18. Equivalència de radiació solar a la finestra amb potència

Font: elaboració pròpia

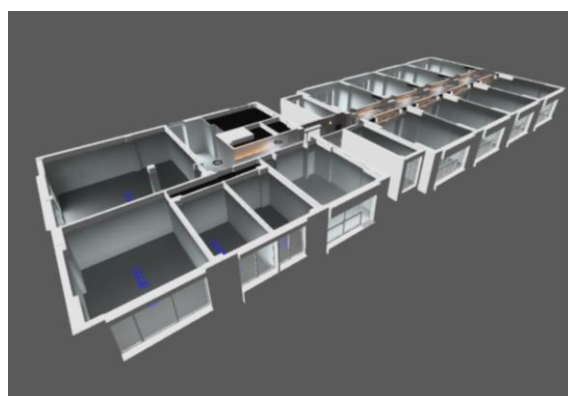
Mes	Radiació solar [kWh/m²]	Watts [W]	Lúmens [lm]
Gener	2,01	168,34	2525,10
Març	4,07	340,86	5112,90
Maig	6,32	529,30	7939,50
Setembre	4,32	361,80	5427,00

Mostres de la modelització amb DialuxEvo:



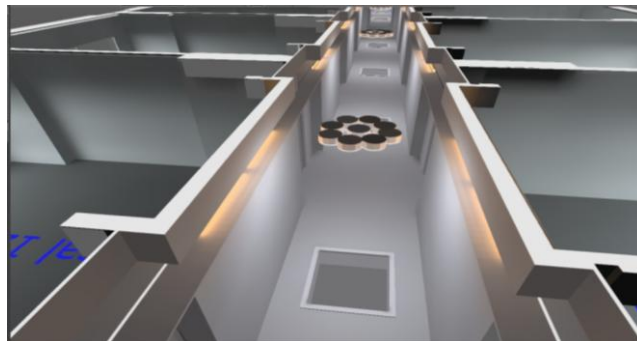
Il·lustració 35. Perspectiva 1 passadís segona planta

Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



Il·lustració 36. Perspectiva 2 passadís segona planta

Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



Il·lustració 37. Recreació claraboia amb llums

Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)

A la Il·lustració 37 es pot veure de quina manera s'ha fet la equivalència entre els conductes solars i els llums.

4.2.2.2 Passadís primera planta

Per tal de poder recrear la nova situació del passadís de la primera planta, es tornarà a fer una equivalència, en aquest cas la recreació de la plataforma quadrada s'han convertit en bombetes incandescent.

Per poder determinar aquesta igualtat, en aquest cas era necessari fer els càlculs primer de la segona planta i després els de la primera planta, ja que la radiació solar que hi arriba varia d'un pis a un altre.

Per tal de calcular les radiacions solars s'ha fet servir una formula que s'ha comentat anteriorment en el subapartat 4.2.1.2.1. (*Definició canvi claraboies per tubs solars*) i es tracta de la del nivell d'il·luminació.

$$E = \frac{\phi \cdot Fd}{h^2} \cdot (0,4)$$

E: luminància (nivell d'il·luminació lux sobre una superfície horitzontal), ϕ : flux lluminós emès pel conducte, Fd: factor de distribució en un punt i h: distància des del difusor al pla de medició.

S'han hagut de calcular les radiacions solars que hi ha en cadascun dels estats. A partir de la Taula 13 i Taula 14, es seleccionen els mesos que estan sotmesos a estudi i un cop es té la radiació solar i l'àrea dels conductes solars, es pot calcular la potència i després es poden trobar els lúmens mitjançant una formula.

$$\phi_{(Lm)} = P_{(W)} \cdot \eta_{(Lm/W)}$$

ϕ : flux lluminós, P: potència i η : eficàcia lluminosa, que en una bombeta incandescent és 15lm/W.

El càlcul de la radiació solar es troba a l'Annex 3 (*Càlculs de radiació*).

Taula 19. Equivalència de lúmens segona planta per radiació solar difusa amb potència

Font: elaboració pròpia

Mes	Radiació solar difusa [kWh/m ²]	Lúmens segona planta [lm]	E: Nivell d'il·luminació [lux]	Watts [W]	Lúmens [lm]
Gener	0,86	1081,65	187,83	21,16	317,43
Març	1,58	1988,55	345,31	38,90	583,50
Maig	2,22	2791,50	484,74	54,61	819,15
Setembre	1,78	2236,13	388,30	43,75	656,25

Taula 20. Equivalència de lúmens segona planta per radiació solar amb potència

Font: elaboració pròpia

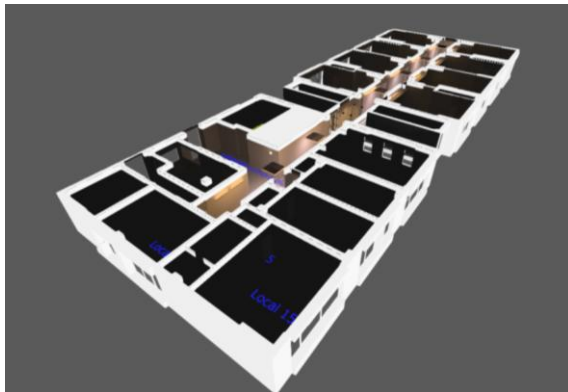
Mes	Radiació solar [kWh/m ²]	Lúmens segona planta [lm]	E: Nivell d'il·luminació [lux]	Watts [W]	Lúmens [lm]
Gener	2,01	2525,10	438,48	49,40	741,00
Març	4,07	5112,90	887,85	100,03	1500,45
Maig	6,32	7939,50	1378,69	155,33	2329,95
Setembre	4,32	5427,00	942,40	106,18	1592,70

La potència P en watts (W) és igual a la il·luminació E (lux) per la superfície A en metres quadrats (m²) dividits pel η eficàcia lluminosa en lúmens per watt (lm / W):

$$P_{(w)} = \frac{E_{(lux)} \cdot A_{(m^2)}}{\eta_{(lm/w)}}$$

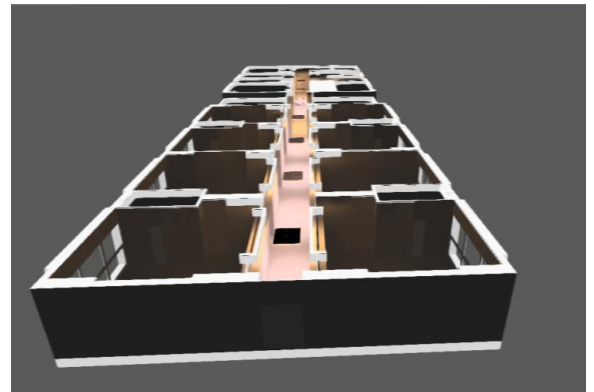
η : en una bombeta incandescent és 15lm/W i A= 1,3·1,3=1,69m²

Mostres de la modelització amb DialuxEvo:



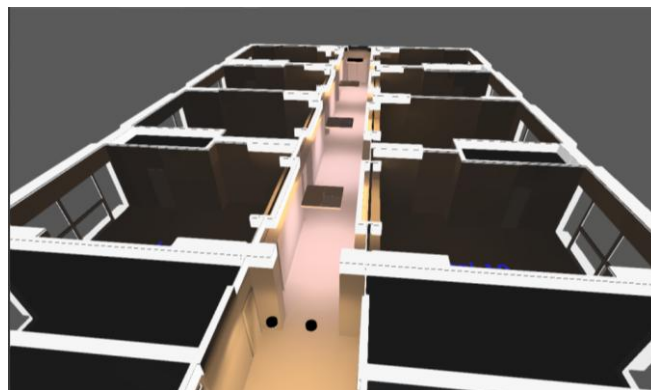
Il·lustració 38. Perspectiva 1 passadís primera planta

Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



Il·lustració 39. Perspectiva 2 passadís primera planta

Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



Il·lustració 40. Recreació plataforma quadrada amb llums

Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)

A la *Il·lustració 40* es pot veure de quina manera s'ha realitzat la recreació per tal de tenir la il·luminació que hi arribarà amb el sistema de la nova configuració a la primera planta, mitjançant la incorporació de llums.

4.2.2.3 Estança 3: Aula

Per poder recrear la nova situació de l'aula, com ja s'ha comentat anteriorment s'ha hagut de fer una equivalència, en aquest cas els tubs solars s'han convertit en bombetes incandescent.

Per poder determinar aquesta igualtat, s'han hagut de calcular les radiacions solars que hi ha en cadascun dels estats. A partir de la *Taula 13* i *Taula 14*, es seleccionen els mesos que estan sotmesos a estudi i un cop es té la radiació solar i l'àrea dels conductes solars, es pot calcular la potència i després es poden trobar els lúmens mitjançant una fórmula.

$$\phi_{(Lm)} = P_{(W)} \cdot \eta_{(Lm/W)}$$

ϕ : flux lluminós, P: potència i η : vegades l'eficàcia lluminosa, que en una bombeta incandescent és 15lm/W.

El càlcul de la radiació solar es troba a l'Annex 3 (Càlculs de radiació).

Taula 21. Equivalència de radiació solar difusa amb potència

Font: elaboració pròpia

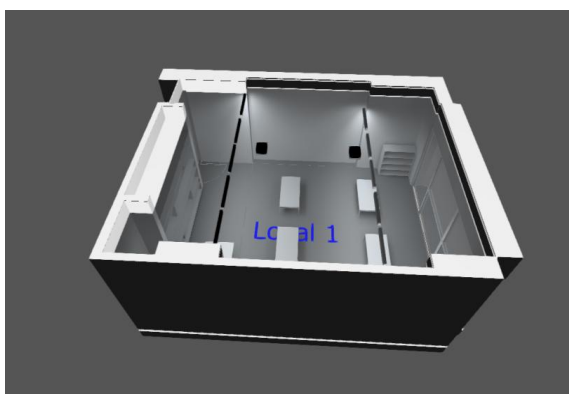
Mes	Radiació solar difusa [MJ/m ²]	Radiació solar difusa [kWh/m ²]	Watts [W]	Lúmens [lm]
Gener	3,10	0,86	13,81	207,15
Març	5,70	1,58	25,39	380,85
Maig	8,00	2,22	35,65	534,75
Setembre	6,40	1,78	102,67	1540,05

Taula 22. Equivalència de radiació solar amb potència

Font: elaboració pròpia

Mes	Radiació solar [kWh/m ²]	Watts [W]	Lúmens [lm]
Gener	2,01	32,24	483,60
Març	4,07	65,29	979,35
Maig	6,32	101,38	1520,70
Setembre	4,32	69,30	1039,50

Mostres de la modelització amb DialuxEvo:



Il·lustració 41. Perspectiva aula
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)



Il·lustració 42. Il·luminació aula
Font: elaboració pròpia (DialuxEvo)

A la Il·lustració 41 es poden veure els focus que simulen ser els tubs solars.

4.2.3 Aspectes de seguretat

Aquest apartat es centrarà en exposar les mesures bàsiques de seguretat que cal complir en un centre educatiu, com és el cas en el que es troba aquest estudi.

Segons la UNE EN 12464-1- *Norma europea sobre la il·luminació para interiores*^[12], una bona il·luminació proporciona als estudiants i professors, un ambient agradable i estimulante, és a dir, hi ha d'haver un confort visual que els permeti fer les activitats sense haver de fer un sobre esforç visual, reduint el cansament i els mals de cap produïts per una il·luminació inadequada. Per la qual cosa s'han d'evitar les problemàtiques específiques que es solen trobar en els centres educatius com són els enlluernaments o el color de la llum emesa pels llums.

Per aquesta raó, com els sistemes que s'implementaran tenen la finalitat d'aportar el màxim de llum solar, s'han de tenir en compte algunes mesures per procurar que l'aprofitament de la irradiació no sigui perjudicial per les persones.

Amb la finalitat de seguir amb aquestes mesures, en el cas del lavabo es col·locarà una làmina de protecció solar interior que deixa passar gran quantitat de llum però evita la possibilitat d'enlluernaments en aquest cas a causa de la reflexió que aportaria l'heliòstat al lavabo.

Una altra de les mesures és la comprovació de que tot el conjunt d'elements que formaran part de la instal·lació elèctrica es trobin en perfectes condicions, ja que no pot existir cablejat en mal estat ni prolongacions de cablejat sense neutre. També s'ha de fer una comprovació de que la il·luminació proporcionï un alt confort visual garantint un nivell adequat d'il·luminació i controlant el risc d'enlluernament.

4.2.4 Modelització de resultats nova situació

A continuació es mostrarà la recol·lecció dels resultats obtinguts durant el càlcul de la nova configuració. Com s'ha fet en la modelització de resultats de l'estat inicial, es tindran en compte quatre moments del dia (9h del matí, 12h migdia, 17h de la tarda, 19h de la tarda) en diferents moments de l'any. S'ha mantingut el sistema de calcular els luxs en diferents situacions, depenent de l'estat meteorològic.

En aquest cas, en algunes de les estances no es calcularà els luxs sense llum diürna, perquè no s'hi han afegit llums artificials, sinó sistemes per incorporar llum solar. Però en el cas del lavabo, s'ha fet una excepció, ja que s'han instal·lat bombetes en cadascun dels compartiments.

4.2.4.1 Resultats estança 1: Lavabo

En aquest cas, als resultats de la modelització de l'estat inicial, s'ha pogut veure que el lavabo té la il·luminació que es necessita, per això, el que es busca en aquesta estança es procurar fer servir només llum natural, sempre i quan es pugui, perquè es compleixen les necessitats lumíniques. De manera que en aquests resultats, es mostraran només els luxs que ofereix la radiació solar, és a dir, es restaran els luxs totals de llum artificial i llum natural als de l'estat de sense llum diürna, d'aquesta manera es tindrà constància dels luxs que proporcionarà la font de llum natural.

En aquesta modelització s'han afegit els llums que aniran a cada compartiment, de manera que l'estat de sense llum diürna es veurà afectat, ja que canviarà respecte al que es té de l'estat inicial.

Taula 23. Resultats de radiació Lavabo (nova configuració)

Font: elaboració pròpia

Dia	Hora	Cel cobert			Cel mig			Cel sense núvols			Sense llum diürna		
		Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)
28/01/2016	9:00h	67	147	127	88	158	145	117	207	242	5	267	633
28/01/2016	12:00h	76	173	204	106	218	347	125	228	279	5	267	633
28/01/2016	17:00h	70	138	117	85	145	130	113	152	137	5	267	633
28/01/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	267	633
16/03/2016	9:00h	73	178	219	112	283	441	125	378	650	5	267	633
16/03/2016	12:00h	79	205	313	121	323	515	131	274	755	5	267	633
16/03/2016	17:00h	73	167	181	91	178	227	121	214	302	5	267	633
16/03/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	267	633
14/05/2016	9:00h	73	198	284	115	284	793	131	278	948	5	267	633
14/05/2016	12:00h	82	231	402	130	397	941	137	323	1120	5	267	633
14/05/2016	17:00h	76	210	327	100	246	428	125	264	659	5	267	633
14/05/2016	19:00h	67	180	221	94	203	331	121	241	369	5	267	633
16/09/2016	9:00h	73	174	204	100	154	407	129	256	487	5	267	633
16/09/2016	12:00h	85	209	326	121	369	610	135	306	749	5	267	633
16/09/2016	17:00h	76	186	246	97	208	290	125	238	360	5	267	633
16/09/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	267	633

Observant els resultats, es pot veure que en la majoria dels estats només utilitzant llum solar es compleixen les necessitats lumíniques. En les situacions en les quals no s'arriba, es podrà fer ús de la llum artificial que com ja s'ha comentat anirà automatitzada per tal de no malgastar més de la necessària.

4.2.4.2 Resultats estança 2: Passadissos

Per tal de veure la millora que s'ha instal·lat als passadissos i després poder realitzar la comparació, es manté la separació dels dos passadissos per realitzar els resultats.

4.2.4.2.1 Resultats passadís primera planta

Taula 24. Resultats radiació passadís primera planta (nova configuració)

Font: elaboració pròpia

Dia	Hora	Cel cobert			Cel mig			Cel sense núvols			Sense llum diürna		
		Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)
28/01/2016	9:00h	123	368	644	148	442	687	149	448	693	2	230	458
28/01/2016	12:00h	125	376	675	154	461	706	155	464	709	2	230	458
28/01/2016	17:00h	123	370	650	181	447	691	151	456	700	2	230	458
28/01/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	230	458
16/03/2016	9:00h	132	395	640	157	469	714	169	506	751	2	230	458
16/03/2016	12:00h	138	413	658	165	497	742	180	538	783	2	230	458
16/03/2016	17:00h	133	397	642	157	473	718	173	521	765	2	230	458
16/03/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	230	458
14/05/2016	9:00h	139	416	660	163	489	734	177	530	775	2	230	458
14/05/2016	12:00h	152	456	700	180	540	785	189	569	813	2	230	458
14/05/2016	17:00h	141	425	670	165	497	741	183	551	796	2	230	458
14/05/2016	19:00h	138	413	658	161	483	728	165	494	739	2	230	458
16/09/2016	9:00h	133	399	643	159	472	717	171	513	758	2	230	458
16/09/2016	12:00h	137	412	657	173	518	763	186	558	803	2	230	458
16/09/2016	17:00h	134	403	648	162	484	729	177	532	777	2	230	458
16/09/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	230	458

Si s'analitzen els resultats obtinguts, es pot veure que s'ha guanyat il·luminació gràcies a la concentració d'il·luminació que s'aconsegueix amb els conductes solars i això es transmet a la primera planta.

La millora es pot observar ja que en tots els estats es compleixen els valors establerts per les necessitats lumíniques, inclús es pot veure com en algunes situacions, se superen els límits.

4.2.4.2.2 Resultats passadís segona planta

Taula 25. Resultats radiació passadís segona planta (nova configuració)

Font: elaboració pròpia

Dia	Hora	Cel cobert			Cel mig			Cel sense núvols			Sense llum diürna		
		Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)
28/01/2016	9:00h	138	414	724	166	497	772	168	504	779	4	248	463
28/01/2016	12:00h	141	423	759	173	518	793	174	522	797	4	248	463
28/01/2016	17:00h	139	416	731	167	502	777	170	512	787	4	248	463
28/01/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	248	463
16/03/2016	9:00h	148	444	719	176	527	802	190	569	844	4	248	463
16/03/2016	12:00h	155	464	739	186	559	834	202	605	880	4	248	463
16/03/2016	17:00h	149	446	721	177	532	807	195	585	860	4	248	463
16/03/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	248	463
14/05/2016	9:00h	156	467	742	183	550	825	199	596	871	4	248	463
14/05/2016	12:00h	171	512	787	202	607	882	213	639	914	4	248	463
14/05/2016	17:00h	159	478	753	186	558	833	206	619	894	4	248	463
14/05/2016	19:00h	155	464	739	181	543	818	185	555	830	4	248	463
16/09/2016	9:00h	149	448	723	179	531	806	192	577	852	4	248	463
16/09/2016	12:00h	154	463	738	194	582	857	209	627	902	4	248	463
16/09/2016	17:00h	151	453	728	182	544	819	199	598	873	4	248	463
16/09/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	248	463

Si s'observen els resultats obtinguts, es pot veure que s'ha guanyat il·luminació amb la recreació dels tubs solars. Això es pot veure en el fet de que en els diferents estats s'ha aconseguit complir les necessitats lumíniques, sense tenir cap casella marcada amb vermell, és a dir, que no hi ha deficiència d'il·luminació. L'estat en el qual s'obtenen pitjors resultats és en el de cel cobert, ja que la radiació que hi arriba als tubs solars és menor que en un dia de Sol, però tot i així s'arriba als límits establerts per la *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, Centros Docentes*.

4.2.4.3 Resultats estança 3: Aula

Taula 26. Resultats radiació Aula (nova configuració)

Font: elaboració pròpia

Dia	Hora	Cel cobert			Cel mig			Cel sense núvols			Sense llum diürna		
		Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)	Mín. (lux)	Mig (lux)	Màx. (lux)
28/01/2016	9:00h	269	403	662	349	640	827	378	692	1441	0	261	503
28/01/2016	12:00h	309	687	830	386	724	1037	395	752	2134	0	261	503
28/01/2016	17:00h	278	453	714	348	692	893	352	702	1733	0	261	503
28/01/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	261	503
16/03/2016	9:00h	261	520	998	364	637	1142	389	706	1536	0	261	503
16/03/2016	12:00h	313	676	1210	392	809	1550	397	969	2669	0	261	503
16/03/2016	17:00h	279	541	1096	349	641	1341	366	761	1812	0	261	503
16/03/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	261	503
14/05/2016	9:00h	298	679	1022	373	782	1620	399	736	1683	0	261	503
14/05/2016	12:00h	310	832	1591	388	966	2924	409	1114	3617	0	261	503
14/05/2016	17:00h	297	736	1365	371	817	1741	398	883	1899	0	261	503
14/05/2016	19:00h	282	536	961	352	610	1436	371	671	1545	0	261	503
16/09/2016	9:00h	284	534	979	355	685	1298	383	724	1255	0	261	503
16/09/2016	12:00h	309	736	1004	386	825	2571	397	1052	3334	0	261	503
16/09/2016	17:00h	285	631	984	356	721	1485	378	846	1783	0	261	503
16/09/2016	19:00h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	261	503

Si s'observen els resultats, en gran part dels estats es compleixen les necessitats lumíniques o inclús se superen els valors que estan establerts. El major problema es troba en l'estat de cel cobert, ja que la radiació que hi arriba als tubs solars és menor que en un dia de Sol, pel que el rendiment del sistema no és el màxim, però tot i això es pot veure que proporcionen il·luminació a l'aula, si es compara amb els luxs que hi ha sense llum diürna, és a dir, per les fonts artificials.

5 ANÀLISI DE RESULTATS

5.1 Comparació de consums de les dues instal·lacions

En els següents apartats s'efectuarà una comparació dels resultats que s'han obtingut amb la realització de les corresponents modelitzacions per tal de poder veure si la incorporació dels sistemes ha suposat una millora per les diferents estances.

5.1.1 Estança 1: Lavabo

Analitzant els resultats obtinguts en l'estat inicial, es va poder veure que es complia amb el que estava establert per les necessitats lumíniques, de manera que en aquesta estança l'objectiu era instal·lar un sistema amb el qual es pogués optimitzar i reduir l'ús de la llum artificial.

Es va decidir instal·lar un heliòstat. La finalitat d'aquesta incorporació va ser que reflectís tota la llum solar possible en direcció a la finestra per tal d'il·luminar el lavabo.

Com s'ha pogut veure amb els resultats de la nova configuració, aquest sistema ha resultat ser positiu. En aquests resultats, com ja s'ha comentat al *subapartat 4.2.4.1 (Resultats estança 1: Lavabo)*, només es mostren els luxs que s'obtenen de la llum natural. Es pot veure que en la majoria dels estats meteorològics s'arriben a complir les necessitats lumíniques sense la necessitat de fer ús de la llum artificial, de manera que hi ha un estalvi d'energia elèctrica.

A continuació s'exposarà el % d'irradiació solar d'abans i després de la modificació per tal de veure que el es guanyaria.

Taula 27. Percentatge d'irradiació solar (lavabo)

Font: elaboració pròpia

Cel cobert	Cel mig	Cel sense núvols
83,3 %	77,3 %	75,9 %

Com es pot observar (*Taula 27*), els percentatges són positius i força elevats, per la qual cosa es pot dir que es guanya molta irradiació solar amb la incorporació de l'heliòstat.

5.1.2 Estança 2: Passadissos

5.1.2.1 Passadís primera planta

Per realitzar una comparació entre els resultats obtinguts, primer cal analitzar com es trobava l'estat inicial. En aquest, la majoria de les situacions es trobaven per sota dels valors establerts per les necessitats lumíniques, de manera que l'objectiu era optimitzar la il·luminació en aquesta estança.

Per tal de fer-ho, s'havia de tenir en compte de quina manera es feia a la segona planta, ja que els dos passadissos estan connectats per mitja d'una plataforma quadrada. Un cop decidit que al segon pis es recrearia un tub solar, es va decidir canviar el vidre translúcid que hi havia per aprofitar al màxim la radiació solar que proporcionaria el conducte solar.

Però hi havia un factor important a tenir en compte, la privacitat. No es podia posar simplement un vidre transparent, sinó també un mecanisme que permetés passar la radiació però que des de la primera planta no es pogués veure res de la segona. Finalment, es va decidir col·locar un conjunt de lames.

Aquest canvi ha resultat ser positiu, perquè com es pot veure en els resultats de la nova configuració, tots els estats compleixen els valors establerts, inclús es pot veure que s'arriben a superar.

A continuació s'exposarà el % d'irradiació solar d'abans i després de la modificació.

Taula 28. Percentatge d'irradiació solar (primera planta)

Font: elaboració pròpia

Cel cobert	Cel mig	Cel sense núvols
59,4 %	68,3 %	68,5 %

A la taula anterior (*Taula 28*), es pot veure que s'han obtingut percentatges positius i per sobre del 50%, per tant es pot dir que s'ha guanyat irradiació solar amb la modificació del vidre i la col·locació del conjunt de lames.

5.1.2.2 Passadís segona planta

En el cas del passadís de la segona planta, es va poder observar que tornava a passar al mateix que amb els resultats de la primera planta. No es complia el que estava establert a les necessitats lumíniques, de manera que l'objectiu de la nova configuració era buscar d'instal·lar un sistema amb proporcionés més llum i d'aquesta manera s'arribessin a les necessitats lumíniques que estan marcades. Tenint en compte un dels requisits de l'estudi que és el de procurar no modificar l'estructura de l'edifici i aprofitar el que ja es té, el que es va decidir recrear un conducte solar on es troben les claraboies.

Aquest sistema ha resultat ser positiu, ja que com es pot observar en els resultats de la nova configuració, en tots els estats es compleixen les necessitats lumíniques, inclús en el cas de l'estat de cel sense núvols s'arriben a superar els límits.

A continuació s'exposarà el % d'irradiació solar d'abans i després de la modificació per tal de veure que el es guanyaria.

Taula 29. Percentatge d'irradiació solar (segona planta)

Font: elaboració pròpia

Cel cobert	Cel mig	Cel sense núvols
65,7 %	74,9 %	78,2 %

Com en el cas de la primera planta, a la segona planta també s'han aconseguit uns bons percentatges, fent que els tubs solars a les claraboies permetin captar més percentatge d'irradiació solar per poder il·luminar els passadissos.

5.1.3 Estança 3: Aula

Si es comparen els resultats de les dues configuracions, l'inicial i la nova, es pot veure que hi ha hagut una millora. Abans la majoria d'estats no arribaven a complir les necessitats lumíniques, en canvi, amb la nova configuració tots ho compleixen i inclús els arriben a superar.

L'objectiu per aquesta estança era proporcionar més llum solar per tal de poder arribar als límits establerts per les necessitats lumíniques, a fi d'aconseguir això es va decidir instal·lar tubs solars i d'aquesta manera il·luminar l'aula amb llum solar.

A continuació s'exposarà el % d'irradiació solar d'abans i després de la modificació per tal de veure que el es guanyaria.

Taula 30. Percentatge d'irradiació solar (aula)

Font: elaboració pròpia

Cel cobert	Cel mig	Cel sense núvols
43,3 %	33,0 %	31,5 %

Com es pot observar, tot i ser els percentatges d'irradiació més baixos en comparació amb les altres estances, es pot dir que amb la incorporació dels tubs solars a l'aula es guanya irradiació solar.

5.2 Interpretació dels resultats obtinguts

A continuació es realitzaran les conclusions a les quals s'han arribat un cop analitzats tots els resultats obtinguts.

5.2.1 Estança 1: Lavabo

Un cop feta la comparació dels resultats, es pot dir que s'ha complert l'objectiu de reduir l'ús de la llum artificial i a més s'ha optimitzat la sala. La raó per la qual és pot afirmar que hi ha hagut una optimització, és perquè en el cas de no tenir la llum suficient, l'automatització de les llums per mitjà de sensors permeten que hi hagi una regulació de la intensitat en el cas de ser necessària.

5.2.2 Estança 2: Passadissos

5.2.2.1 Passadís primera planta

Aquesta estança tenia una dificultat afegida, que era el fet d'haver de complir amb el factor de privacitat, fent que fos més difícil trobar el sistema adequat. A més, la il·luminació no només depenia d'un sistema, en aquest cas era imprescindible que funcionés també el sistema del passadís de la segona planta, ja que la font d'il·luminació és la mateixa sumant el fet de les possibles pèrdues que pot proporcionar el nou sistema de conjunt de lames.

Tot i això, després de realitzar la comparació de resultats, es pot dir que l'objectiu que es va establir s'ha complert, ja que els resultats que s'han obtingut han estat positius.

5.2.2.2 Passadís segona planta

Com s'ha pogut comprovar en la comparació de resultats, s'ha complert amb l'objectiu que es tenia, que era millorar la il·luminació del passadís sense fer modificacions en l'estructura de l'edifici. A més, també s'han afegit els sensors de llum per tal de reduir l'ús de la llum artificial i adaptar-ho a les necessitats que hi hagin en cada moment. En definitiva, hi ha hagut una optimització lumíniques en aquesta estança.

5.2.3 Estança 3: Aula

Després de realitzar la comparació de resultats, es pot dir que s'ha complert amb l'objectiu de proporcionar més llum solar. L'aula és una estança on només en alguns moments del dia es complien les necessitats lumíniques i té moltes zones amb poca il·luminació.

Amb la nova implementació això ha canviat, ja que la distribució escollida dels tubs solars assegura que les zones on els estudiants acostumen a tenir les taules estaran ben il·luminades i la resta de l'aula obtindrà més il·luminació.

6 PLA MEDIAMBIENTAL

En el present estudi, com be indica el seu títol, el que es vol és realitzar una optimització lumínica, reduint la utilització de llum artificial i treure el màxim profit de la llum natural, la que proporciona el Sol. El principi ecologista diu “l’única energia que no contamina és aquella que no s’utilitza”, això el que vol reflectir és que tota energia per poca que sigui contamina. Per intentar que aquesta contaminació sigui mínima amb aquest estudi s’han decidit implantar sistemes on es busca la màxima optimització lumínica.

Els sistemes que s’instal·laran tenen un impacte mediambiental que es pot considerar nul. Si s’analitzen diversos factors, com poden ser el soroll, les emissions a l’atmosfera, destrucció de flora i fauna i residus tòxics, es pot veure que el seu impacte es limita a la fabricació i a la instal·lació però no durant el seu funcionament.

Dels diferents sistemes plantejats, l’heliòstat és una bona opció per complir aquesta intenció de reducció del consum d’energia elèctrica. Tot i que pot resultar contradictori pel fet de que el seguidor solar que porta incorporat necessita energia. Però s’ha de dir que aquesta energia requerida és mínima en comparació amb el que s’estalvia.

Un dels principals avantatges dels heliòstats és el fet de no generar cap tipus d’emissió atmosfèrica, a part d’aquesta també es pot destacar el fet de no produir fluents líquides. Però si s’analitzen els inconvenients, el principal és els residus que es generen un cop s’ha acabat la vida útil dels heliòstats, ja que aquests han de ser tractats de forma específica. Per aquesta raó, s’ha considerat l’opció de dissenyar l’heliòstat amb uns materials que garanteixin que al final de la vida útil podran ser reciclats.

En el cas dels conductes solar, tots els que serien utilitzats en la nova configuració, estan dissenyats per reduir el impacte ambiental al mateix temps que proporcionen il·luminació natural. Quan s’està utilitzant la llum solar, s’elimina la necessitat d’haver d’encendre les llums elèctriques, fent que hi hagi una reducció al mínim de la petjada de carboni de l’edifici mitjançant la reducció del CO₂ ambiental.

Tots els tubs solars que es col·locaran, tenen una certificació ecològica C2C (*cradle to cradle*). Aquesta certificació garanteix que el producte ha portat un procés industrial que no genera impacte mediambiental ni redueix l’activitat industrial. Aquest tipus de sistemes també estan format per uns materials que un cop hagi finalitzat la seva vida útil podran ser reciclats.



En definitiva, es pot dir que aquest estudi té un objectiu clar i es compleix, que és el de reduir les emissions de CO_2 i aprofitar de forma òptima els recursos naturals, com és en aquest cas la llum del Sol. Per tant, és un estudi viable a nivell mediambiental.

7 PLA DE VIABILITAT ECONÒMICA

Al següent capítol es farà un estudi detallat de com es durà a terme la inversió inicial. Tot i no ser, la viabilitat econòmica, la finalitat d'aquest estudi, s'examinarà la factura elèctrica i es farà un anàlisi mitjançant el Pay-Back per tal de determinar si són rendibles les solucions proposades.

A fi de veure la viabilitat de cadascun dels sistemes a implementar, s'ha pensat que la millor opció és realitzar un pla de viabilitat econòmica per cadascuna de les estances i poder veure quina seria la que sortiria més a compte implantar. De manera que s'analitzaran els costos de les diferents estances per separat.

7.1 *Factura elèctrica*

Abans de començar amb els càlculs pertinents al pla econòmic i financer, es necessari saber quina és la situació actual, sabent que s'està consumint de llum artificial i que s'està pagant per aquest consum per poder veure si amb la implantació dels nous sistemes hi haurà un estalvi econòmic i l'amortització.

Cal dir, que en aquestes factures no s'ha tingut en compte el fet de que cada any poden variar els preus de l'electricitat, és a dir, que potser d'aquí uns anys el preu sigui molt més elevat a causa de la reducció de recursos naturals per produir l'electricitat, de manera que l'estalvi seria més elevat.

7.1.1 *Estança 1: Lavabo*

Analitzant els resultats obtinguts del lavabo, es pot observar que en l'estat inicial, tot i que els resultats eren favorables perquè es complien les necessitats lumíniques, si es resten els luxs que donen els llums, amb la llum natural no s'arriba a cobrir aquestes necessitats. És a dir, sempre hi ha necessitat de fer servir llum elèctrica. Per aquesta raó és necessari saber el consum que suposa aquest ús i el preu que s'ha de pagar per fer servir la llum artificial.

Es consumeixen 81,31 Watts en una hora, que si es té en compte que l'horari de l'escola és d'unes 10 hores, són 0,81 kWh.

Taula 31. Factura elèctrica estat inicial (lavabo)

Font: elaboració pròpia

Factura elèctrica (estat inicial)		
Concepte	Unitat de mesura	Quantitat
Consum d'electricitat	kWh	0,81
Preu electricitat*	€/kWh	0,14499
Total diària	€	0,11789
Dies per cada mes	Dies	30
Mesos utilització	mesos	10
Total anual	€	35,37

*El preu és el de la companyia Endesa al 2016^[9]

A la *Taula 32*, es realitzarà el mateix que en la *Taula 31*, però en aquest cas fent referència al consum que hi haurà a la nova configuració. Com s'ha pogut veure en els resultats, en aquest cas, les hores necessàries de consum de llum artificial és pràcticament mínim, pel que es farà un càlcul aproximat d'aquestes hores.

Taula 32. Factura elèctrica nova configuració (lavabo)

Font: elaboració pròpia

Factura elèctrica (nova configuració)		
Concepte	Unitat de mesura	Quantitat
Consum d'electricitat	kWh	0,82
Preu electricitat*	€/kWh	0,14499
Total diària	€	0,11920
Dies per cada mes	Dies	30
Mesos utilització	mesos	4,50
Total anual	€	16,10

*El preu és el de la companyia Endesa al 2016^[9]

Si s'agafen els dos preus totals anuals, es pot saber quin seria l'estalvi anual, que en aquest cas seria de 19,27€.

7.1.2 Estança 2: Passadissos

Si s'observen els resultats obtinguts dels passadissos, es pot veure que tant en l'estat inicial com en la nova configuració, hi ha necessitat de fer servir llum elèctrica. Per aquesta raó és necessari saber el consum que suposa aquest ús i el preu que s'ha de pagar per fer servir la llum artificial.

Als passadissos es consumeixen 921,07 Watts en una hora, que si es té en compte un horari escolar de 10 hores, són 9,21 kWh.

Taula 33. Factura elèctrica estat inicial (passadissos)

Font: elaboració pròpia

Factura elèctrica (estat inicial)		
Concepte	Unitat de mesura	Quantitat
Consum d'electricitat	kWh	9,21
Preu electricitat*	€/kWh	0,14499
Total diària	€	1,33540
Dies per cada mes	Dies	30
Mesos utilització	mesos	10
Total anual	€	400,64

*El preu és el de la companyia Endesa al 2016^[9]

A la *Taula 34*, es realitzarà el mateix que en la *Taula 33*, però en aquest cas fent referència al consum que hi haurà a la nova configuració. En aquest cas, el número de mesos es redueix, ja que en alguns d'ells no es necessària la utilització de llum artificial.

Taula 34. Factura elèctrica nova configuració (passadissos)

Font: elaboració pròpia

Factura elèctrica (nova configuració)		
Concepte	Unitat de mesura	Quantitat
Consum d'electricitat	kWh	9,21
Preu electricitat*	€/kWh	0,14499
Total diària	€	1,33540
Dies per cada mes	Dies	30
Mesos utilització	mesos	6
Total anual	€	240,37

*El preu és el de la companyia Endesa al 2016^[9]

En aquest cas, hi hauria un estalvi anual de 160,27€.

7.1.3 Estança 3: Aula

Analitzant els resultats obtinguts de l'aula, es pot observar que en l'estat inicial, si es resten els luxs que donen els llums amb la llum natural, no s'arriba a cobrir aquestes necessitats. Com en les altres estances, sempre hi ha necessitat de fer servir llum elèctrica i per això és necessari saber el consum que suposa aquest ús i el seu preu. En aquest cas es consumeixen 216,33 Watts en una hora, que en l'horari escolar són 2,16 kWh.

Taula 35. Factura elèctrica estat inicial (aula)

Font: elaboració pròpia

Factura elèctrica (estat inicial)		
Concepte	Unitat de mesura	Quantitat
Consum d'electricitat	kWh	2,16
Preu electricitat*	€/kWh	0,14499
Total diària	€	0,3136
Dies per cada mes	Dies	30
Mesos utilització	mesos	10
Total anual	€	94,10

*El preu és el de la companyia Endesa al 2016^[9]

A la *Taula 36*, es realitzarà el mateix que en la *Taula 35*, però en aquest cas fent referència al consum que hi haurà a la nova configuració. Com s'ha pogut veure, en aquest cas, les hores necessàries de consum de llum artificial és pràcticament mínim, per tant es farà un càlcul aproximat d'aquestes hores.

Taula 36. Factura elèctrica nova configuració (aula)

Font: elaboració pròpia

Factura elèctrica (nova configuració)		
Concepte	Unitat de mesura	Quantitat
Consum d'electricitat	kWh	2,16
Preu electricitat*	€/kWh	0,14499
Total diària	€	0,3136
Dies per cada mes	Dies	30
Mesos utilització	mesos	4,5
Total anual	€	42,34

*El preu és el de la companyia Endesa al 2016^[9]

Si es calcula la diferència entre les dues factures, es pot veure que hi hauria un estalvi anual de 51,76€.

7.2 Inversió inicial

El primer punt a realitzar per desenvolupar el pla econòmic i financer consisteix en fer una relació de tot l'actiu necessari per poder implementar els sistemes.

7.2.1 Estança 1: Lavabo

Taula 37. Inversió inicial (lavabo)

Font: elaboració pròpia

Inversió inicial	
Concepte	Volum d'inversió (€)
Heliòstat	1.225,00
Heliòstat (disc parabòlic)	625,00
Obra per la instal·lació	325,00
Instal·lació	275,00
Seguidor solar	3.016,00
Seguidor solar de dos eixos	2.541,00
Programació del seguidor	200,00
Instal·lació	275,00
TOTAL SEGUIDOR I HELIÒSTAT	4.241,00
Parets compartiments	270,00
4 Panells translúcids	200,00
Instal·lació	70,00
Llums compartiments	386,24
4 llums	306,24
Instal·lació	80,00
Sensors	866,00
4 Sensors presència i intensitat	320,52
6 Sensors intensitat	345,48
Instal·lació	200,00
TOTAL	5.763,24

A continuació s'explicaran d'on surten els preus de cada element de la taula d'inversió inicial (*Taula 37*).

Taula 38. Explicació preus

Font: elaboració pròpia

Concepte	Volum d'inversió (€)
Heliòstat	Preu mercat aproximat (consultat a l'empresa Titan Tracker)
Seguidor solar	Preu mercat aproximat (consultat a l'empresa Sumiseran)
Parets compartiments	Preu mercat aproximat
Llums compartiments	Preu mercat aproximat (consultat a l'empresa Osram)
Sensors	Preu mercat aproximat (consultat a l'empresa Osram)

7.2.2 Estança 2: Passadissos

Taula 39. Inversió inicial

Font: elaboració pròpia

Inversió inicial	
Concepte	Volum d'inversió (€)
Conducte solar	8.061,16
6 conductes solars	6.011,16
Instal·lació	2.050,00
Vidre transparent	1.337,21
6 vidres de 1,69 m²	1.087,21
Instal·lació	250,00
Lames	550,00
Lames alumini	300,00
Instal·lació	250,00
Sensors	2089,82
29 Sensors intensitat	1669,82
Instal·lació	420,00
TOTAL	12.038,19

A continuació s'explicaran d'on surten els preus de cada element de la taula d'inversió inicial (*Taula 39*).

Taula 40. Explicació preus

Font: elaboració pròpia

Concepte	Volum d'inversió (€)
Conducte solar	Preu mercat aproximat (consultat a l'empresa Espacio Solar)
Vidre transparent	Preu mercat aproximat
Lames	Preu mercat aproximat
Sensors	Preu mercat aproximat (consultat a l'empresa Osram)

7.2.3 Estança 3: Aula

Taula 41. Inversió inicial (aula)

Font: elaboració pròpia

Inversió inicial	
Concepte	Volum d'inversió (€)
Conducte solar	1.428,00
2 conductes solars	874,00
Obra per l'instal·lació	254,00
Instal·lació	300,00
Sensors	407,90
5 sensors intensitat	287,90
Instal·lació	120,00
TOTAL	1.835,90

A continuació s'explicaran d'on surten els preus de cada element de la taula d'inversió inicial (*Taula 41*).

Taula 42. Explicació preus

Font: elaboració pròpia

Concepte	Volum d'inversió (€)
Conducte solar	Preu mercat aproximat (consultat a l'empresa Teclusol)
Sensors	Preu mercat aproximat (consultat a l'empresa Osram)

7.3 *Període de recuperació*

Per tal de saber en quin nombre d'anys la inversió es veurà pagada, s'ha de calcular el Pay-Back o període de recuperació.

Per calcular aquest paràmetre s'ha de saber la inversió que es realitzarà i el benefici promig anual que hi haurà.

Quan es fa referència al benefici promig anual, vol dir la diferència entre la factura elèctrica de l'estat inicial i la factura elèctrica que es passarà a pagar un cop s'implantin els diferents sistemes, és a dir, amb la nova configuració.

Abans de realitzar els càlculs, cal dir que la hipòtesis inicial és que no és viable econòmicament, a més un dels requisits marcats al començament de l'estudi és el de que no és objecte de projecte, la recerca de la màxima viabilitat econòmica.

7.3.1 *Estança 1: Lavabo*

En aquest cas es calcularà el Pay-Back del lavabo. Es realitzarà el càlcul tenint en compte tots els elements que formen la nova configuració, per tal de veure en quants anys es veurà recuperada.

VALOR INVERSIÓ TOTAL:

5.763,24 €

VALOR RESIDUAL:

0 €

VALOR BENEFICI PROMIG ANUAL:

19,27 €

$$Pay - Back = \frac{5763,24}{19,27} = 299 \text{ anys}$$

7.3.2 Estança 2: Passadissos

En aquest cas es calcularà el Pay-Back dels passadissos. Es realitzarà el càlcul tenint en compte tots els elements que formen la nova configuració, per tal de veure en quants anys es veurà recuperada. No es realitzarà per separat cada passadís, ja que els sistemes plantejats estan dissenyats per anar conjuntament.

VALOR INVERSIÓ TOTAL:

12.038,19 €

VALOR RESIDUAL:

0 €

VALOR BENEFICI PROMIG ANUAL:

160,265 €

$$Pay - Back = \frac{12.038,19}{160,265} = 75 \text{ anys}$$

7.3.3 Estança 3: Aula

En aquest cas es calcularà el Pay-Back de l'aula. Es realitzarà el càlcul tenint en compte tots els sistemes que formen la nova configuració, per tal de veure en quants anys es veurà recuperada.

VALOR INVERSIÓ TOTAL:

1.835,90 €

VALOR RESIDUAL:

0 €

VALOR BENEFICI PROMIG ANUAL:

51,76€

$$Pay - Back = \frac{1.835,90}{51,76} = 35,5 \text{ anys}$$

8 PLANIFICACIÓ I PROGRAMACIÓ

Seguidament es presentarà la planificació (*Taula 43*) i el Diagrama de Gantt (*Diagrama 31*) que es podria dur a terme en el cas de que l'Escola aproves l'estudi.

Taula 43. Planificació futura

Font: elaboració pròpia

Tasca	Descripció
Preparació especificacions tècniques	Definició de les diferents especificacions tècniques per tal de poder dur a terme la implementació dels sistemes.
Contractació del personal per realitzar la instal·lació	Contractar l'empresa que s'encarregarà de dur a terme la instal·lació dels sistemes.
Subministrament dels elements	Contactar amb les empreses proveïdores dels diferents sistemes.
Muntatge dels sistemes	Instal·lar els diferents sistemes.
Posada en marxa	

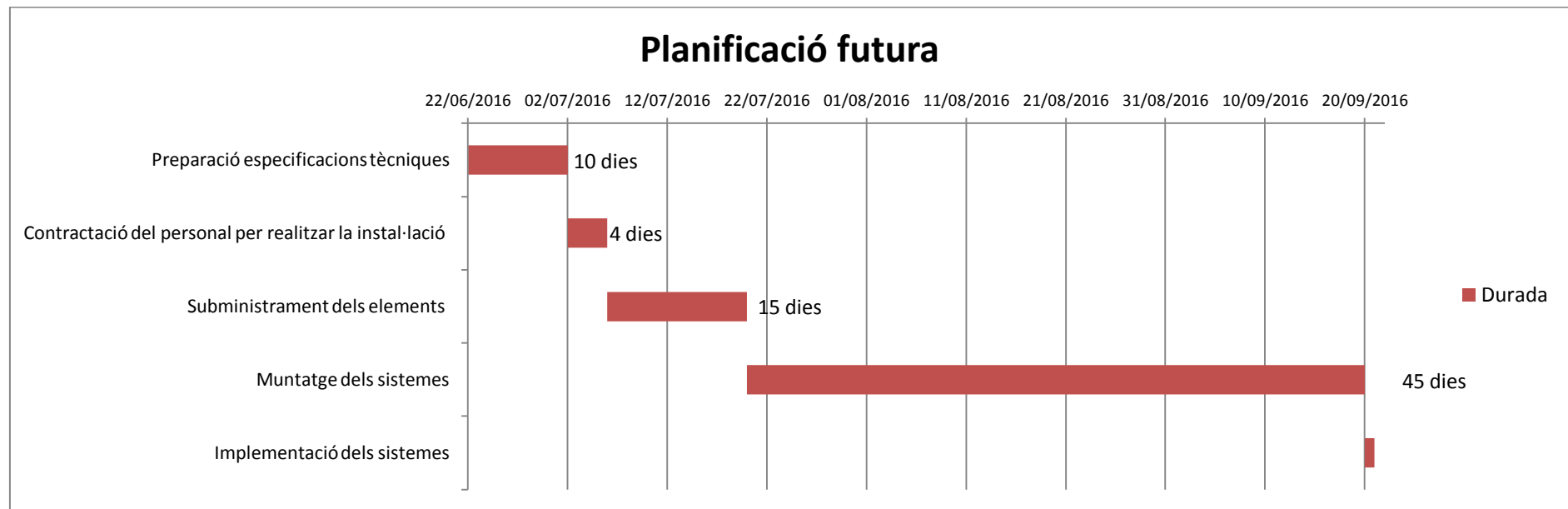


Diagrama 31. Diagrama de Gantt
 Font: elaboració pròpia

9 CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

Després de l'elaboració d'aquest treball, es pot arribar a una sèrie de conclusions.

En primer lloc, un cop analitzats els resultats obtinguts de la nova configuració es pot dir que s'ha aconseguit una optimització lumínica de les estances havent tingut en compte tots els requisits que es van marcar abans de començar a elaborar el present estudi. Totes les estances presenten resultats positius i compleixen el que està establert, de manera que s'ha complert amb la condició de no produir una disminució de la qualitat de la llum.

Fixant la mirada en cada una de les mesures adoptades a l'escola, es veu que en el cas del lavabo amb la incorporació de l'heliòstat es redueix el consum energètic de 244 kWh a 111 kWh, en resum es redueix fins a un 54,5%. Per altre banda es tracta d'una mesura mediambientalment parlant molt atractiva per contra no es pot dir el mateix quan es tracta el tema econòmic ja que no surt viable. Tot i això sense instaurar l'heliòstat es reduirien moltíssim les despeses i s'aconseguiria aportar una millora econòmicament més viable.

En el cas dels passadissos, el consum energètic d'electricitat es veu disminuït amb la incorporació dels tubs solars de 2763 kWh a 1658 kWh, sent un 40% de reducció. Com en el cas del lavabo, es podria analitzar quina de les mesures podria afavorir a la estança per tal de fer l'optimització més viable econòmicament.

Finalment, en el cas de l'aula es minva el consum energètic de 649 kWh a 292 kWh, pel que es redueix fins un 55%, sent l'estança on es redueix més i és gràcies a la implementació dels dos conductes solars. Per altre banda, com la resta de millores, és una mesura ambientalment molt favorable però com s'ha pogut observar, no ho és si es parla del tema econòmic. No obstant, es creu que els tubs solars són un sistema que té futur en el mercat per la qual cosa el seu preu es veurà reduït fins al punt de poder arribar a ser viable.

En definitiva, es pot dir que s'ha complert amb el principal objectiu que era identificar, definir i dissenyar solucions lumíniques innovadores que permetin utilitzar la irradiació solar per il·luminar diverses estances de l'escola Europa International School.

10 BIBLIOGRAFIA

10.1 Referències web

^[1]Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. *Guía Técnica de la Eficiencia Energética en Iluminación*. Madrid. Ministerio de Ciencia y Tecnología. 2001. [Consulta: 26 febrer 2016] Disponible a

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5573_GT_iluminacion_centros_docentes_01_6803da23.pdf

^[2]Empresa LedBox. *Niveles recomendados de iluminación por zonas*. LedBox. Salamanca. 2015. [Consulta: 26 febrer 2016] Disponible a <http://blog.ledbox.es/informacion-led/niveles-recomendados-lux>

^[3]Tecnología Bioclimática, Espacio Solar. *Tubo de luz (Preguntas Frecuentes)*. Madrid. Espacio Solar. 2011. [Consulta: 27 març 2016] Disponible a http://www.espaciosolar.com/preguntas_tubo_de_luz.htm

^[4]Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. *Iluminación eficiente en edificios*. Madrid. Ministerio de Ciencia y Tecnología. 2001. [Consulta: 12 març 2016] Disponible a

<http://www.idae.es/index.php/id.36/reلمenu.352/mod.pags/mem.detalle>

^[5]Generalitat de Catalunya. *Atlas de Radiació Solar a Catalunya*. Barcelona. Departament d'Indústria, Comerç i Turisme. 2000. [Consulta: 13 març 2016] Disponible a

http://icaen.gencat.cat/web/.content/migracio_automatica/documents/activitats_i_dades_energetiques/arxiu/monografic12.pdf

^[6]Díaz, Juan Francisco. *Mecanismos de seguimiento solar*. Madrid. Eficiencia energética y utopía. 2015. [Consulta: 29 abril 2016] Disponible a <https://juanfrancisco207.wordpress.com/2015/04/07/mecanismos-de-seguimiento->

^[7]Pintos Lanzuela, Cecilia. *Seguidor solar ligero para cubiertas*. Madrid. 2010. [Consulta: 2 maig 2016] Disponible a <http://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4c2620b086830.pdf>

^[8]Nieto Vilardell, Eurgenio. *Sensores fotoeléctricos industriales*. Sevilla. Fidestec. 2015. [Consulta: 4 maig 2016]

<http://fidestec.com/blog/sensores-fotoelectricos-industriales-fotocelulas/>

^[9]Empresa Endesa. 2016 [Consulta: 1 juny 2016]. Disponible a <https://www.endesaclientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas.html>

- [10]Espacio Solar. *Conductos Glass Top*. 2011. [Consulta: 15 maig 2016] Disponible a http://www.espaciosolar.com/tubos_de_luz.htm
- [11]Teclusol. *Solatube 290 DS-35*. 2010. [Consulta: 15 maig 2016] Disponible a <http://www.teclusol.com/Solatube-290DS-35cm>
- [12]Aenor. *UNE 12464.1 Norma europea sobre la iluminación para interiores*. Madrid. Asociación Española de Normalización y Certificación (Aenor). 2012. [Consulta: 10 juny 2016] Disponible a <http://www.diba.cat/documents/7294824/11610426/E05UNE-12464.1+Norma+europea+para+la+iluminaci%C3%B3n+de+interiores.pdf/7dd66ee0-095f-4c9d-a287-52af544d16b8>
- [13]TitanTracker. *Heliostato*. 2016 [Consulta: 1 juny 2016]. Disponible a http://www.titantracker.es/v_portal/apartados/apartado.asp?te=656
- [14]Sumiseran SL. *Seguidores solares*. 2014 [Consulta: 1 juny 2016]. Disponible a <http://www.sumiseran.es/contents/es/d18.html>
- [15]Osram. *Sensores individuales DUO*. 2015 [Consulta: 1 juny 2016]. Disponible a http://www.osram.es/osram_es/productos/tecnologia-led/sistemas-de-gestion-de-luz/sensores-individuales/duo/index.jsp
- [16]Osram. *Sensores LS/PD MULTI 3 CI*. 2015 [Consulta: 1 juny 2016]. Disponible a http://www.osram.com/osram_com/products/electronics/light-management-systems/dali-professional/sensors/lspd-multi-3-ci/index.jsp
- [17]Osram. *Luminarias TRESOL Bloc*. 2015 [Consulta: 1 juny 2016]. Disponible a http://www.osram.es/osram_es/productos/tecnologia-led/luminarias-led-para-interiores/decoracion-vivienda/tresol-bloc/index.jsp